

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง

นายณพพร เทนอิสระ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-533-310-7

**PERFORMANCE STUDY OF A DIRECT INJECTION DIESEL
ENGINE USING CRUDE PALM OIL AS FUEL**

Mr. Nopporn Tenissara

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2003

ISBN 974-533-310-7

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง
โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง

PERFORMANCE STUDY OF A DIRECT INJECTION DIESEL ENGINE
USING CRUDE PALM OIL AS FUEL

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานำฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(รองศาสตราจารย์ น.อ. ดร. วรพจน์ จำพิศ)

ประธานกรรมการ

.....

(รองศาสตราจารย์ ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

กรรมการ

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีช จิตรสมบูรณ์)

กรรมการ

.....

(รองศาสตราจารย์ น.ท.ดร. สราวุฒิ สุจิตจร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

.....

(รองศาสตราจารย์ น.อ. ดร. วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

นพพร เทนอิสสระ: การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงโดยใช้น้ำมัน
ปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง (PERFORMANCE STUDY OF A DIRECT INJECTION DIESEL
ENGINE USING CRUDE PALM OIL AS FUEL)

อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ.ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์, 81 หน้า.

ISBN 974-533-310-7

การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันปาล์มดิบมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทน
น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง ด้วยวิธีการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบ
ฉีดโดยตรงโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบอุ่นให้ร้อนที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเชื้อเพลิง และเปรียบเทียบกับ
เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง รวมถึงการทดสอบในระยะยาวเพื่อหาผลกระทบต่อความ
คงทนของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ จากการทดสอบสมรรถนะของ
เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง กำลังและแรงบิดจะมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน
ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในช่วงความเร็วรอบประมาณ 800–2,200 รอบต่อนาที แต่จะมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้
น้ำมันดีเซลในช่วงความเร็วรอบ 2,200–3,600 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของน้ำมันปาล์มจะ
สูงกว่าใช้น้ำมันดีเซลโดยเฉลี่ยประมาณ 13.93% ในช่วงของการเพิ่มความเร็วรอบ และ 12.24% ในช่วง
ของการลดความเร็วรอบ จากการทดสอบในระยะยาวเป็นเวลา 270 ชั่วโมง ผลปรากฏว่ามีการสะสมของ
สารประกอบคาร์บอนตามชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งผ่านการใช้
งานเป็นระยะเวลาเท่ากัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้กำลังและแรงบิดลดลงตามระยะเวลาการทดสอบ
นอกจากนั้นยังพบว่าการอุดตันของไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดขึ้นผิดปกติ ดังนั้นการนำเอาน้ำมันปาล์ม
ดิบอุ่นร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส มาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงนั้นอาจจะนำมาใช้ใน
เครื่องยนต์ที่มีลักษณะการทำงานที่ความเร็วรอบและภาระกรรมคงที่ เช่น เครื่องยนต์เรือ หรือเครื่องยนต์
การเกษตร จะเหมาะสมกว่า อย่างไรก็ตามจากผลการสะสมของคาร์บอนตามชิ้นส่วนต่างๆ ดังที่กล่าว
มาแล้ว อาจจะทำให้เครื่องยนต์มีอายุการใช้งานสั้นกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปกติ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

NOPPORN TENISSARA: PERFORMANCE STUDY OF A DIRECT
INJECTION DIESEL ENGINE USING CRUDE PALM OIL AS FUEL

THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF KONTORN CHAMNIPRASART, Ph.D. 81 PP.

ISBN 974-533-310-7

BIODIESEL/PALM OIL/ALTERNATIVE FUEL/PERFORMANCE /DIESEL ENGINE

This research focused on studying the possibility of using the crude palm oil as fuel to replace diesel fuel in a direct injection diesel engine. Two test had been conduct. First the performance test of the direct injection diesel engine using heated crude palm oil at 50 °C as fuel comparing with diesel fuel. Secondly the long-term test of the direct injection diesel engine using heated crude palm oil at 50 °C was investigated. The results of test revealed that the direct injection diesel engine using crude palm oil has lower brake power and the torque at speed of 800-2,200 rpm but higher at speed of 2,200 – 3,600 rpm. The brake specific fuel consumption was higher at the average of 13.93% in each increasing circle and 12.24% in each decreasing circle than using diesel fuel for the same speed range. After testing for a period of 270 hours the carbon compound deposit at difference parts of the engine was higher than that of the engine using diesel fuel. This might decrease the brake power and torque of engine. The blockage of the fuel fillter occurred more rapidly than using diesel fuel. As a result, using heated crude palm oil at 50 °C in direct injection diesel engine required constant speed and loads, which was rather high, for example, ship engines or engines used for agricultural purposes. As there was the carbon compound deposited and blockage of fuel fillter as mentioned, this might cause the diesel engine using crude palm oil as fuel to have shorter life than the diesel engine using diesel fuel

School of Mechanical Engineering Student 's Signature _____

Academic year 2003 Advisor 's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และ ด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

- ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 - ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีข จิตรสมบุรณ์ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 - ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ น.อ. ดร. วรพจน์ ขำพิศ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 - ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย จันทสาโร อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 - ขอขอบคุณ คุณอาภรณ์พรรณ ศรีอัครวิทยา และ คุณทัศนีย์ ทิพย์สาคร เจ้าหน้าที่และธุรการประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 - ขอขอบคุณ คุณชัยนิกร กุลวงษ์และคุณจุฑาทิพย์ ทองเดชาสามารถ เพื่อนร่วมเรียนระดับปริญญาโทที่ให้กำลังใจ ช่วยเหลือ และ ให้คำปรึกษามาโดยตลอด
 - ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย
- ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม และส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างต่อเนื่อง จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

นพพร เทนอิสสระ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	12
2.2.1 เชื้อเพลิงทดแทน	12
2.2.2 น้ำมันปาล์ม	13
2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม	14
2.2.4 กระบวนการ Transesterification	15
2.2.5 คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง	17
2.2.5.1 เลขซีเทนและดัชนีซีเทน	17
2.2.5.2 ความหนืด	20
2.2.5.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.5.4	การกลั่น	24
2.2.5.5	จุดวาบไฟ	26
2.2.5.6	ความหนาแน่น	26
2.2.5.7	จุดไหลเท.....	26
2.2.5.8	จุดเกิดหมอก.....	26
2.2.5.9	กำมะถัน	27
2.2.6	สมรรถนะของเครื่องยนต์	27
2.2.6.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	27
	ก) กำลังเบรก.....	27
	ข) การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก	27
	ค) อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง.....	28
2.2.6.2	การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะสั้น	28
2.2.6.3	การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะยาว	30
	ก) การวิเคราะห์น้ำมันเครื่อง.....	30
	ข) การสะสมของคาร์บอนบนหัวฉีด.....	31
3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	32
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ	32
3.1.1	เครื่องยนต์ดีเซล	32
3.1.2	ไดนาโมมิเตอร์	33
3.1.3	เครื่องมือวัดความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์	34
3.1.4	เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ	34
3.1.5	ถังอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ	34
3.1.6	เครื่องกรองที่ใช้สำหรับกรองน้ำมันปาล์มดิบ	35
3.2	น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ	36
3.2.1	น้ำมันดีเซล	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2	น้ำมันปาล์ม	36
3.2.3	น้ำมันเครื่อง	36
3.2.4	น้ำมันไฮดรอลิกส์	36
3.3	ขั้นตอนการดำเนินงาน	37
3.3.1	ขั้นตอนการวางแผน	37
3.3.2	ขั้นตอนการทำงาน	37
3.4	วิธีการทดลอง	38
3.4.1	การทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์	39
3.4.2	การทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ	39
3.5	การวิเคราะห์ผล.....	40
4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	42
4.1	การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล	42
4.1.1	แรงบิดของเครื่องยนต์	42
4.1.2	กำลังของเครื่องยนต์	44
4.1.3	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค	46
4.2	การทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ	46
4.2.1	แรงบิดของเครื่องยนต์ในแต่ละครั้ง	48
4.2.2	กำลังของเครื่องยนต์ ในแต่ละครั้ง	49
4.2.3	การเปลี่ยนแปลงน้ำมันเครื่อง	49
4.2.4	ค่าความหนืดของน้ำมันเครื่อง	50
4.2.5	การอุดตันของกรองเชื้อเพลิง	51
4.3	ผลกระทบต่อชิ้นส่วนเครื่องยนต์	51
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	58
5.1	สรุปผลการทดลอง	58
5.1.1	การทดลองระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์	58
5.1.2	การทดลองระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ	58
5.2	ข้อเสนอแนะ	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง	60
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบ	65
ภาคผนวก ข. ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง	
ก่อนทำการทดลอง	79
ภาคผนวก ค. ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง	
หลังทำการทดลอง	80
ประวัติผู้เขียน	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	การเปรียบเทียบผลผลิตของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ 14
2.2	ค่าเลขชี้แทนของน้ำมันชนิดต่างๆ 19
2.3	ค่าดัชนีชี้แทนของน้ำมันชนิดต่างๆ..... 20
2.4	ค่าความหนืดกินแมตริกส์ของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ที่ 40 °C ซึ่งมีหน่วยเป็น cSt 23
2.5	ค่าความหนืดกินแมตริกส์ของเอสเตอร์น้ำมันชนิดต่างๆ ที่ 40 °C ซึ่งมีหน่วยเป็น cSt 23
2.6	คุณสมบัติการกลั่นตัวของน้ำมันปาล์ม 25
3.1	ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ 32
3.2	รายละเอียดของเครื่องไคนาโมมิเตอร์..... 33
3.3	รายละเอียดของเครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ..... 34
ก.1	ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงจากการ ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในช่วงการเพิ่มความเร็วรอบ..... 66
ก.2	ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงจากการ ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในช่วงการลดความเร็วรอบ 67
ก.3	ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงจากการ ใช้น้ำมันปาล์มดิบกรองเป็นเชื้อเพลิงช่วงการเพิ่มความเร็วรอบ 68
ก.4	ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงจากการ ใช้น้ำมันปาล์มดิบกรองเป็นเชื้อเพลิงช่วงการลดความเร็วรอบ 69
ก.5	ข้อมูลจากการทดสอบความคงทนของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงจากการ ใช้น้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิ 50 °C 70

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	การย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์จำพวกไตรกลีเซอไรด์ 15
2.2	สูตรโครงสร้างของ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ 15
3.1	การติดตั้งเครื่องย่นคั่นแท่นทดสอบไดนาโมมิเตอร์ 33
3.2	ภาพหม้อต้มไฟฟ้าที่ใช้สำหรับคั่นน้ำมันปาล์มดิบทั้งบริเวณพื้นผิวด้านนอก และบริเวณพื้นผิวด้านใน 35
3.3	ส่วนประกอบของเครื่องกรองอัดสำหรับกรองน้ำมันปาล์มดิบ 35
4.1	เปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องย่นคั่นดีเซลแบบฉีดโดยตรงระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง 43
4.2	เปรียบเทียบกำลังของเครื่องย่นคั่นดีเซลแบบฉีดโดยตรงระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง ----- 45
4.3	เปรียบเทียบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องย่นคั่นดีเซลแบบฉีดโดยตรง ระหว่างการใช้ น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง 47
4.4	เปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องย่นคั่นดีเซลแบบฉีดโดยตรงระหว่างการทดสอบ ช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง 48
4.5	การเปรียบเทียบกำลังของเครื่องย่นคั่นดีเซลแบบฉีดโดยตรงระหว่างการทดสอบ ช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง 49
4.6	การเปลี่ยนแปลงน้ำมันเครื่องของเครื่องย่นคั่นดีเซลแบบฉีดโดยตรงในการทดสอบ ช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2 เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง 50
4.7	เปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องของเครื่องย่นคั่นดีเซลแบบฉีดโดยตรง ระหว่างการทดสอบช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง 51
4.8	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวด้านข้างกระบอกสูบของเครื่องย่นคั่น ดีเซลระบบฉีดโดยตรงทั้งก่อนและหลังจากการทดสอบ เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง 52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวฝาสูบของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง ทั้งก่อนและหลังการทดสอบเป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง53
4.10	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวด้านบนและด้านข้างลูกสูบของ เครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรงทั้งก่อนและหลังจากทดสอบ เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง54
4.11	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณหัวฉีดด้านบนและด้านข้างของเครื่องยนต์ ดีเซลระบบฉีดโดยตรงทั้งก่อนและหลังจากทดสอบ เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง55
4.12	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณแหวนอัดตัวที่ 1 และแหวนอัดตัวที่ 2 ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรงเป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง56

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

EMA	=	Engine Manufacturers Association
CO	=	Carbon Mono-Oxide
CO ₂	=	Carbon Di-Oxide
HC	=	Hydrocarbon
NO	=	Nitrogen Di-Oxide
P _b	=	กำลังเบรค
T	=	แรงบิด
N	=	ความเร็วรอบ
μ	=	ความหนืดสมบูรณ์
μ _a	=	ความหนืดสมบูรณ์ของอากาศ
bsfc	=	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค
g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
ρ	=	ความหนาแน่น
ρ _a	=	ความหนาแน่นของอากาศ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานถือได้ว่าเป็นสิ่งจำเป็นอันดับต้นๆ ต่อการดำรงชีพของมนุษย์ ในปัจจุบันพลังงานส่วนใหญ่จะได้อาจมาจากเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ทดแทนไม่ได้ จากการประเมินของนักวิทยาศาสตร์ของโลก กล่าวว่าปริมาณเชื้อเพลิงที่มีสำรองในโลกซึ่งได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และยูเรเนียม จะสามารถนำมาใช้ได้อีกโดยประมาณดังนี้ น้ำมันอีกประมาณ 40-50 ปี ก๊าซธรรมชาติอีกประมาณ 55-60 ปี ถ่านหินอีกประมาณ 150 ปี และ ยูเรเนียมอีกประมาณ 80 ปี (Teerin Vanichseni, Sakda Intaravichai Banyat Saitthiti and Thanya Kiatiwat, 2545) แนวทางแก้ไขของกลุ่มผู้ผลิต คือ การลดอัตราการผลิตลงจึงทำให้ราคาน้ำมันเพิ่มตามสถานการณ์การผลิตของผู้ผลิต เช่น กลุ่มประเทศผู้ผลิตน้ำมันเพื่อการส่งออก หรือ กลุ่มโอเปค (OPEC: Organization of Petroleum Exporting Countries) ได้ประกาศลดกำลังการผลิต และขึ้นราคาน้ำมันดิบหลายครั้งทำให้เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันโลกขึ้น ในต้นปี พ.ศ.2517 คือเพิ่มจาก 2.75 เหรียญสหรัฐ/บาร์เรล ในปี พ.ศ.2516 เป็น 34 เหรียญสหรัฐ/บาร์เรล ในปี พ.ศ.2524 (ธำรง โชตะมังสะ และคณะ, 2539)

ในประเทศไทยปี พ.ศ.2543 มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 92 ล้านลิตรต่อวัน โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลมีอัตราการใช้ถึง 41 ล้านลิตรต่อวัน คิดเป็น 49% ของผลผลิตน้ำมันปิโตรเลียมทั้งหมด เพราะฉะนั้นจึงมีการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศประมาณ 102 ล้านลิตรต่อปี คิดเป็นเงินประมาณ 285,862 ล้านบาทต่อปี (Teerin Vanichseni et al., 2545) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี ในช่วงปี พ.ศ.2543-2544 เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันขึ้นภายในประเทศทำให้ราคาน้ำมันดีเซลได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากลิตรละประมาณ 8 บาท เพิ่มขึ้นเป็น 14 บาท (ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2544)

ด้วยเหตุนี้ทำให้หลายๆ ประเทศได้พยายามศึกษา ค้นคว้า วิจัย และพัฒนาพลังงานอื่นเพื่อใช้ทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียม ได้แก่ พลังงานจากธรรมชาติ เช่น พลังงานจากพื้นพิภพ พลังงานจากน้ำ พลังงานจากลม พลังงานจากดวงอาทิตย์ และพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ผลิตขึ้นเอง เช่น พืช มูลสัตว์ ขยะ และพลังงานนิวเคลียร์

น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงประเภทหนึ่งที่เหมาะสมจะใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน ประกอบกับประเทศไทย

เป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีแหล่งพลังงานชนิดนี้มาก ดังนั้นน้ำมันพืชจึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทน และใช้เป็นพลังงานสำรองของประเทศเมื่อเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันขึ้น ในต่างประเทศได้มีการนำเอาน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนานแล้วตั้งแต่ปี ค.ศ.1900 (Sapuan, Masjuki and Azlan, 1996) ซึ่งสามารถค้นคว้าได้ในวารสารบทความและงานวิจัยต่างๆ ชนิดของน้ำมันพืชที่นำมาใช้มีด้วยกันหลายชนิด เช่น ต้นสบู่ดำ ปาล์ม เมล็ดเรพ ข้าวโพด ดอกทานตะวัน และมะพร้าว ฯลฯ

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันพืชที่ผลิตมากในประเทศ โดยเฉพาะทางภาคใต้ของประเทศเป็นแหล่งผลิตหลักในปี พ.ศ.2541 มีผลผลิตน้ำมันปาล์มประมาณ 2,464,770 ตัน (พิสมัย เจนวนิชปัญกุล และคณะ, 2524) ประเทศเพื่อนบ้านเช่นมาเลเซียเป็นแหล่งผลิตรายใหญ่ของโลกโดยประมาณว่า 70% ของน้ำมันปาล์มที่ผลิตได้ในโลกผลิตมาจากประเทศมาเลเซีย (Sapuan et al., 1996)

เนื่องจากในปัจจุบันน้ำมันปาล์มดิบ จะถูกนำไปกลั่นเป็นน้ำมันปาล์มกลั่นเพื่อบริโภคเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งโดยปกติจะเกินความต้องการของการบริโภค จึงส่งผลให้เกษตรกรไม่สามารถขายน้ำมันปาล์มสดได้ ดังนั้นถ้าเราสามารถแปรรูปน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นไบโอดีเซลได้ในเชิงพาณิชย์ จะสามารถลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้ และถ้าเราสามารถทดแทนการนำเข้าน้ำมันดิบ 20% ของการใช้น้ำมันดีเซล จะลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้ประมาณ 13,436 ล้านบาทต่อปี (Teerin Vanichseni et al., 2545) นอกจากนี้ยังมีผลกระทบโดยทางอ้อมต่อเกษตรกร คือทำให้เกษตรกรสามารถขายปาล์มสดได้ราคาที่สูงขึ้นด้วย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอสมรรถนะต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส รวมถึงผลกระทบในระยะยาวต่อเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส กับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

1.2.2 ศึกษาผลกระทบในระยะยาวต่อเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อเพลิง

1.2.3 ประเมินความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมันปาล์มดิบมาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงเท่านั้น

1.3.2 ใช้น้ำมันปาล์มดิบอุ่นร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันดีเซล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถประเมินสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบ

1.4.2 สามารถวิเคราะห์ถึงผลกระทบในระยะยาว จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงได้

1.4.3 ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงจริง ๆ

1.4.4 ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับให้นักวิจัยได้ทำการวิจัยต่อไป

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล และคณะ (2525) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย รายงานการวิจัยโดยใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ยี่ห้อ 7 แรงม้า โดยไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใด ผลการทดลองพบว่า น้ำมันถั่วลิสงทั้งชนิดดิบ และกลั่นที่มีความหนืดสูง การติดเครื่องยนต์เป็นไปได้ยากมีปัญหาในการเดินเครื่อง ที่ความเร็วรอบต่ำๆ เครื่องยนต์เดินสะดุด การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และไม่ต่อเนื่อง ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระยะสั้นพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสงทั้งชนิดดิบ และกลั่นเป็นเชื้อเพลิง ให้กำลังใกล้เคียงกับที่ใช้น้ำมันดีเซล หลังการทดสอบเดินเครื่องยนต์แล้ว ได้ตรวจสอบสภาพชิ้นส่วนเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสงมีเขม่าจับที่ลูกสูบและวาล์วมากกว่าที่ใช้น้ำมันดีเซล และมีตะกรันสีขาวตกอยู่ในถังน้ำมันบรรจุเชื้อเพลิงจำนวนมากซึ่งมีผลต่อลูกสูบ และหัวฉีดน้ำมันหากหลุดติดไปกับน้ำมันเชื้อเพลิง

เพื่อแก้ปัญหาเรื่องของความหนืด ได้ทดลองเดินเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วลิสงในน้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด โดยให้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ได้ใช้ส่วนผสมในอัตราส่วนถั่วลิสงชนิดดิบ 40% ในน้ำมันดีเซล และน้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบ 50% ในน้ำมันก๊าด ผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลในระยะสั้นพบว่าใช้งานได้ดี ติดเครื่องง่าย เกิดการเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง และไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดที่ความเร็วรอบต่ำ เหมือนการใช้น้ำมันถั่วลิสงเพียงอย่างเดียว

นอกจากนั้น ได้ทดลองนำเอสเทอร์ (Ester) จากน้ำมันปาล์มมาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลด้วย เอสเทอร์ที่นำมาใช้ทดลองนี้ได้วิจัยผลิตขึ้นที่ห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบทำปฏิกิริยากับเมทานอล มีกรดเป็นคะตะลิสต์ เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มที่ได้ มีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ในการทดลองกับเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ให้กำลังเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซลทุกประการ อย่างไรก็ตามไม่มีรายงานการทดลอง และผลที่มีต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว

ระพีพันธุ์ ภาสบุตร และ สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์ (2524) ใช้น้ำมันเมล็ดสบู่ดำกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่าสามารถใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่มีการน็อก และจากรายงานของกองเกษตรวิศวกรรม

กรมวิชาการเกษตร เมื่อใช้น้ำมันเมล็ดสบู่ดำเดินเครื่องยนต์ครบ 1,000 ชั่วโมง ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ เช่น เสื้อสูบ ลูกสูบ แหวน ลิ้น และหัวฉีด มีสภาพดีไม่มีสารเหนียว (Gum) เกาะอยู่

มนตรี ทวาโรจน์ (2538) ได้ศึกษาหาจุดเหมาะสมของเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าดที่อัตราส่วนต่างๆ เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล จากนั้นได้หาสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ปรากฏว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์คือ น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าด 10-12:1 โดยปริมาตร จะมีสมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะต่ำกว่าประมาณ 10 % แรงบิดลดลง 2.44% ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงกว่า 6.29% ความดันประสิทธิผลเฉลี่ยเบรคต่ำลง 2.38% โดยที่ส่วนประกอบของไอเสียใกล้เคียงกัน การสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ไม่ผิดปกติเพียงแต่มีสารเหนียวจับอยู่ที่หัวฉีด และไส้กรองเชื้อเพลิงอุดตันผิดปกติ

ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2544) นำเสนอรายงานการวิจัยในอดีตของนักวิจัยทั้งใน และต่างประเทศเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซล ประเด็นหลักที่น่าสนใจคือ

คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันพืช เช่น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ความหนืด ค่าเลขซีเทน ฯลฯ จากงานวิจัยในอดีตค่าความร้อนของน้ำมันพืชส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อยประมาณ 10-15% ทั้งนี้เป็นเพราะมีการเกาะตัวของออกซิเจนในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันพืชด้วย ส่วนค่าเลขซีเทนมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำหนดมาตรฐานของน้ำมันดีเซลคือ 40-60 ซึ่งค่าทั้งสองนั้นเชื่อว่ามีอุปสรรคน้อยมาก ค่าที่มีผลกระทบมากสำหรับเครื่องยนต์ที่นักวิจัยส่วนใหญ่เชื่อ คือ ค่าความหนืดของน้ำมันพืชที่มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10-20 เท่า กล่าวคือ ค่าความหนืดที่สูงจะทำให้การฉีดน้ำมันจากหัวฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ไม่เป็นฝอยละอองดีพอ ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในห้องเผาไหม้โดยเฉพาะบริเวณ กระบอกสูบ ลูกสูบ และหัวฉีด ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของสารประกอบคาร์บอน เหม่า สารเหนียว การปนเปื้อนของน้ำมันเครื่อง แนวทางการแก้ไขของนักวิจัยส่วนใหญ่คือ การสกัดเอสเตอร์ออกจากน้ำมันพืช การอุ่นร้อนก่อนฉีดเข้าห้องเผาไหม้ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล ซึ่งแนวทางทั้งหมดเป็นวิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชทั้งสิ้น

สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่มักใช้เปรียบเทียบกับน้ำมันชนิดอื่นกับน้ำมันดีเซล มักจะมีค่าต่างๆ ดังนี้คือ กำลัง แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่างๆ ผลการวิจัยของนักวิจัยมีความแตกต่างกันไม่มากนักประมาณ 10%

ในส่วนของผลกระทบต่อความคงทนของเครื่องยนต์ อันเนื่องมาจากอุปสรรคของความหนืด ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง เกิดการสะสมของสารประกอบคาร์บอนตามชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงเขม่า และสารเหนียว ซึ่งมีผลกระทบต่อความคงทนของเครื่องยนต์ เช่น เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงในน้ำมันเครื่องซึ่งจะทำให้คุณสมบัติของน้ำมันเครื่องเปลี่ยนไป ยังผลให้ลดประสิทธิภาพในการหล่อลื่น รวมถึงสารเหนียวที่ปนอยู่ในน้ำมันเครื่องทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนไม่ไหลเท

นอกจากนี้ยังมีผลกระทบอื่นๆ เช่น การติดเครื่องยากในขณะที่ยังเครื่องยนต์เย็น การอุดตันของไส้กรองเชื้อเพลิงเร็วกว่าปกติ การเสื่อมสภาพของซีลต่างๆ ในปั้มน้ำมัน

องค์ประกอบของไอเสีย จากงานวิจัยของนักวิจัยได้ข้อสรุปที่แตกต่างกันไป เช่นบางท่านสรุปว่าควันพิษจากการใช้น้ำมันพืชน้อยกว่าทุกกรณี บางท่านบอกว่าเท่ากัน หรือมากกว่า อาจเป็นเพราะค่าควันพิษมีปริมาณน้อยอยู่แล้ว ในระดับ ppm การเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อยอาจเป็นสัดส่วนที่มากก็ได้ และในการทำการทดลองนั้นสภาพเครื่องยนต์ สภาพการทดลอง ความแตกต่างของห้องเผาไหม้ หัวฉีด ย่อมมีผลกระทบต่อ การสนองตอบของการเผาไหม้ของน้ำมันพืช และน้ำมันดีเซลแตกต่างกัน แม้เพียงเล็กน้อยก็อาจส่งผลต่อปริมาณควันพิษได้มาก

Kaufman and Ziejewski (1984) รายงานผลการทดสอบสมรรถนะ และการทดสอบความคงทนของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรง จากการใช้เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ของน้ำมันทานตะวัน โดยทดลองวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ ขณะภาระเต็มที่ที่ความเร็วรอบนั้นๆ จากผลการทดสอบพบว่า สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเทอร์จะมีอัตราการไหลโดยมวลของเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น 8.6% กำลังลดลง 5.8% เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ส่วนอุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงกว่าในกรณีการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และเลขคว้นดามีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดังนี้ ที่ความเร็วรอบ 2,300 รอบต่อนาที จะลดลงจาก 1 เป็น 0.2 และที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที ลดลงจาก 0.8 เป็น 0.4 เมื่อใช้เอสเทอร์เป็นเชื้อเพลิง

การทดสอบความคงทนโดยใช้ระยะเวลาการทดสอบคือ 200 ชั่วโมง ตามสมาคมผู้ผลิตเครื่องยนต์ (Engine Manufacturers Association) ผลการทดสอบที่ได้หลังจากเดินเครื่องยนต์ 200 ชั่วโมง พบว่ามีคาร์บอนสะสมที่หัวฉีดเล็กน้อย อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเครื่องตลอดช่วงการทดสอบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าเฉลี่ยที่ 16 g/h ส่วนกรณีของเอสเทอร์จะมีค่า 12 g/h และจากการสังเกตความหนืดของน้ำมันเครื่องในกรณีที่ใช้เอสเทอร์พบว่า การทดสอบช่วงเริ่มต้น

ความหนืดจะลดลง และการทดสอบช่วงหลังความหนืดจะเพิ่มขึ้น ส่วนการสะสมของคาร์บอนตามชิ้นส่วนต่างๆ เช่น วาล์ว ลูกสูบ กระบอกสูบ ฝาสูบ พบว่ามีมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล

Kyle and Spencer (1993) ได้ศึกษาหาสมรรถนะ การแพร่กระจายของไอเสีย และอัตราการปล่อยความร้อนที่ภาระต่างๆ ขณะความเร็วรอบคงที่ที่ 1,800 รอบต่อนาที โดยใช้เมธิลเอสเทอร์จากถั่วเหลืองเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ระบบฉีดโดยตรง ซึ่งใช้หัวฉีดที่มีขนาดรูการฉีดและจังหวะการฉีดต่างกัน พบว่าสมรรถนะและอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์จากการใช้เอสเทอร์มีค่าใกล้เคียงกับในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง การแพร่กระจายของ HC และเลขวันดำมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ภาระเดียวกัน ส่วนค่า CO จากการเปรียบเทียบบางช่วงมีค่าสูงกว่า และบางช่วงมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ค่า NO_x ยังมีความสัมพันธ์กับความดันสูงสุดในกระบอกสูบ กล่าวคือ ที่ความดันสูงสุดในกระบอกสูบสูง เครื่องยนต์ที่ใช้เอสเทอร์เป็นเชื้อเพลิงจะมีค่า NO_x สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และที่ความดันต่ำ เครื่องยนต์ที่ใช้เอสเทอร์เป็นเชื้อเพลิงจะมีค่า NO_x น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนขนาดรูหัวฉีดจะไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แต่จะมีผลกระทบมากเมื่อใช้เอสเทอร์เป็นเชื้อเพลิง เช่น ในกรณีที่รูหัวฉีดขนาดเล็กจะทำให้ความดันในกระบอกสูบสูงขึ้น สำหรับการเปลี่ยนจังหวะการฉีดจะไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะและการแพร่กระจายไอเสีย ทั้งในกรณีของการใช้เอสเทอร์และการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

Masjuki, Kalam, Maleque, Suhaimi and Mokhtar (1998) ได้ศึกษาสมรรถนะและการแพร่กระจายไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงของบริษัท Isuzu รุ่น 4FB1 ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะ 4 สูบ โดยใช้ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์มโอลีน น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มโอลีนผสมกับน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมตั้งแต่ 10% ถึง 50 % เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์เดียวกันที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันผสมทั้งสองสามารถลดมลพิษไอเสีย และควันดำลงได้ นอกจากนี้อุณหภูมิของไอเสียยังลดลงด้วย ส่วนกำลังเบรคจะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การเปรียบเทียบน้ำมันผสมทั้งสองชนิดพบว่า น้ำมันปาล์มผสมจะมีค่า CO CO_2 HC ควันดำ น้อยกว่าน้ำมันมะพร้าวผสม และกำลังเบรคของน้ำมันปาล์มผสมจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันมะพร้าวผสมเล็กน้อย

Kammpman (1995) รายงานการใช้น้ำมันพืชดิบในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น จะต้องมีการปรับปรุงเครื่องยนต์บางจุด เช่น ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงจะเพิ่มขึ้น 40%

ถึง 45% ได้ถ้าสามารถทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงสุดเท่ากับ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้เหล็ก เครื่องมือทำลูกสูบ การอุ่นร้อนน้ำมันก่อนเข้าปั๊มให้มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และการผสมกับ น้ำมันดีเซล จะทำให้น้ำมันในระบบเชื้อเพลิงไหลได้สะดวก จากการศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำมันพืชพบว่าน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันพืชที่เกิดโพลีเมอร์ไรเซชันน้อยที่สุด

Gafar, Widodo, Sidjabat, Legowo, Rahman, Harimu, Sutardjo and Iskandar (1995) รายงานผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ระบบฉีดโดยตรง โดยใช้เอสเตอร์จาก น้ำมันปาล์ม และเอสเตอร์ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 70:30 โดยปริมาตร แล้วนำผลการ ทดลองที่มาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 100% เป็นเชื้อเพลิง วิธีการหาสมรรถนะของ เครื่องยนต์นั้น จะทดสอบที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้เงื่อนไขภาระเต็มที่ที่ความเร็วรอบนั้นๆ ผล ปรากฏว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์ผสมกับน้ำมันดีเซลมีกำลังลดลง และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรคเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ส่วนมลพิษจะ ลดลงเมื่อใช้เอสเตอร์ 100% เป็นเชื้อเพลิง

Masjuki, Abdulmuin and Sii (1995) ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง ของบริษัท Isuzu รุ่น 4FB1 โดยใช้น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้ใส (Emulsion) ด้วย น้ำ 5% และ 10% ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 100 % และ น้ำมัน ปาล์ม 100% เป็นเชื้อเพลิง รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบต่อเครื่องยนต์เช่น ผลกระทบต่อ น้ำมันเครื่อง การสึกหรอของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้ใส สรุปผลการ ทดสอบดังนี้

การทดสอบสมรรถนะที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้เงื่อนไขการทดสอบ คือการเปิดลิ้นปีก ผีเสื้อ 50% พบว่าใช้น้ำมันปาล์ม 100% และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้ใสเป็นเชื้อเพลิง จะทำ ให้กำลังเบรคมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรค จะมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย ส่วนในกรณีของการใช้น้ำมันปาล์ม 100% เป็นเชื้อเพลิง จะทำให้กำลังเบรคสูงกว่าในกรณีการใช้น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้ใสเป็น เชื้อเพลิง นอกจากนั้นยังพบว่าการทำให้น้ำมันพืชใสมีผลให้ค่า CO CO₂ HC และ อุณหภูมิไอเสีย ลดลง

การทดสอบผลกระทบต่อเครื่องยนต์โดยการเดินเครื่องที่ 1500 รอบต่อนาที ที่ลิ้นปีกผีเสื้อ เปิด 50% เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ผลที่ได้คือ การทำให้น้ำมันพืชใส สามารถลดการสึกหรอของ

เครื่องยนต์ได้นอกจากนั้นยังสามารถลดการก่อตัวของคาร์บอนบนหัวฉีดและยืดอายุของน้ำมันเครื่องได้

Hitam and Jahis (1995) รายงานการใช้ น้ำมันปาล์มดิบในรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล Elsbett มีโปรแกรมการทดสอบเป็นระยะทางประมาณ 300,000 กิโลเมตร ทุกๆ 100,000 กิโลเมตร จะทำการถอดชิ้นส่วนเครื่องยนต์เพื่อวิเคราะห์ความสึกหรอ และทุกๆ 5,000 กิโลเมตร จะทำการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง และทำการเปลี่ยนกรองน้ำมันเชื้อเพลิงใหม่ แต่การทดสอบได้ทดสอบเป็นระยะทางเพียง 80,000 กิโลเมตรเท่านั้น หลังทำการทดสอบเป็นระยะทาง 80,000 กิโลเมตร อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉลี่ยประมาณ 8 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร สำหรับเส้นทางในเมือง และ 7 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร สำหรับการเดินทางไกล ตลอดช่วงการทดสอบไม่พบปัญหาใดๆ เครื่องยนต์เดินเรียบ การไหลของน้ำมันจากถังจะไม่ติดขัด ไม่พบฟองอากาศ ไม่พบอนุภาคใดบนท่อทางเดิน จากการถอดชิ้นส่วนไม่พบผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

Raju, Rao and Ramamohan (2000) ใช้น้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการกรองแล้วและเอสเตอร์ของมันเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรง ถูกสูบล้างโดยตรง โดยทดลองหาสมรรถนะต่างๆ ที่ความเร็วรอบคงที่ที่ 1500 รอบต่อนาที จากผลการทดลองพบว่า การใช้เอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิงจะทำให้ความดันสูงสุดในกระบอกสูบ และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค มีค่าสูงกว่าในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้การเพิ่มแรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง มีผลให้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคลดลง ทั้งในกรณีการใช้น้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการกรองแล้ว และเอสเตอร์ของมันเป็นเชื้อเพลิงในขณะเดียวกันพบว่าที่แรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากัน เครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์จะมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการกรองแล้วเป็นเชื้อเพลิง ส่วนค่ามลพิษของไอเสียพบว่าถ้าใช้เอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิง จะมีค่า CO และ O₂ ลดลง และ CO₂ เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

Prasad, Krishna and Reddy (2000) ทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล Kirloskar แบบฉีดโดยตรง ในขณะที่การปล่อยความร้อนออกจากเครื่องยนต์ต่างๆ โดยใช้น้ำมัน Pongamia ดิบและเอสเตอร์ของมันเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับในกรณีที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งทดสอบหาสมรรถนะที่ภาระต่างๆ ณะความเร็วรอบคงที่ที่ 1,500 รอบต่อนาที และได้ทำการปรับปรุงแก้ไขเครื่องยนต์โดยใส่ฉนวนที่ถูกลูบและกระบอกสูบ แล้วอุ่นร้อนน้ำมันดิบและเอสเตอร์ ให้มีอุณหภูมิ 179 และ 125 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ก่อนการฉีดเข้าห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และยังได้เพิ่มแรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย จากการทดสอบพบว่า ถ้าเครื่องยนต์มีการปล่อยความร้อนออกต่ำๆ

และมีการอุ่นร้อนน้ำมัน จะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นพบว่าการใช้น้ำมัน Pongamia คีบ และเอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิงจะทำให้อุณหภูมิของไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตามการทำเอสเตอร์ การอุ่นร้อนน้ำมัน และการเพิ่มแรงดันการฉีด น้ำมันเชื้อเพลิงจะทำให้ คาร์บอน และ NO_x ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

Beg, Bose and Ghosh (2000) ศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะ และการแพร่กระจายไอเสีย จากการเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด พร้อมกับการใส่จำนวนที่ลูกสูบในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กลูกสูบเดียวที่สามารถปรับอัตราส่วนการอัดได้ และใช้น้ำมันลินซีด (linseed oil) ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20%-80% และเอสเตอร์ของมันเป็นเชื้อเพลิง ผลการทดลองสรุปได้ว่า ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคเพิ่มขึ้นถ้าใช้เอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิง และจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของน้ำมันลินซีด ในน้ำมันผสม เมื่อเทียบกับในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซล 100% และในการเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด จะทำให้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคเพิ่มขึ้น 40.11% ที่อัตราส่วนการอัด 19:1 และเพิ่มขึ้น 42.49% ที่อัตราส่วนการอัด 20:1 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล 100% เป็นเชื้อเพลิง ส่วนอุณหภูมิไอเสียพบว่า การใช้เอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงกว่าในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซล 100% เป็นเชื้อเพลิง ในกรณีของมลพิษพบว่า NO_x จะมีค่าสูงขึ้นตามความหนาของจำนวนที่ลูกสูบ และลดลงตามสัดส่วนของน้ำมันลินซีดในน้ำมันผสม ส่วนค่า CO จะมีค่าเพิ่มขึ้นถ้าใช้เอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิง และเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของน้ำมันลินซีดในน้ำมันผสมเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

Kumar, Ramesh, Nagalingam and Gopalakrishnan (2000) ศึกษาสมรรถนะและการทำงาน ของเครื่องยนต์ดีเซล Kirloskar ลูกสูบเดี่ยวแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง โดยใช้เมทิลเอสเตอร์จากน้ำมัน เมล็ดสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิง พบว่าการทำงานของเครื่องยนต์เป็นไปอย่างราบเรียบ ไม่มีการสะดุดของเครื่องยนต์ และพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย ส่วนความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจะมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าการใช้เมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิงไอเสียที่ถูกปล่อยออกมาจะมีปริมาณของ HC ที่น้อยกว่าในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แต่จะพบว่า CO นั้นจะมีปริมาณที่มากกว่าและจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อภาระเพิ่มขึ้น ส่วน คาร์บอนจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

Pandey, Pandey, Ghosh and Ramanujam (2000) รายงานการวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซล หัวข้อที่น่าสนใจคือ องค์ประกอบของน้ำมันพืช คุณสมบัติของน้ำมันพืชและน้ำมันผสม เทคนิคการลดความหนืด อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม สมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันเหล่านั้น ซึ่งสรุปได้ดังนี้คือ การนำน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลควรผสมน้ำมันดีเซลตั้งแต่ 30% ขึ้นไปโดยไม่คำนึงถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ จากงานวิจัยต่างๆ ได้มีความพยายามที่จะลดความหนืดด้วยวิธีดังต่อไปนี้คือ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล การทำให้น้ำมันใสด้วยน้ำหรือแอลกอฮอล์ และการทำเอสเตอร์ ซึ่งสามารถที่จะลดความหนืดของน้ำมันพืชลงได้ให้เท่าน้ำมันดีเซล จากข้อมูลงานวิจัยส่วนใหญ่การใช้น้ำมันพืชที่ปรับปรุงแล้วสามารถเพิ่มสมรรถนะ นอกจากนั้นมลพิษยังลดลง เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ผู้วิจัยยังได้เสนอแนวทางการวิจัยที่ต้องทำต่อไปคือ การศึกษาในเชิงธุรกิจในแง่ของราคาน้ำมันพืชเมื่อมีการนำมาใช้จริงๆ รวมถึงต้นทุนของการแปรรูปน้ำมัน

Beg, Bose, Ghosh and Subodh (2000) ได้ทำการทดสอบหาสมรรถนะ และการแพร่กระจายไอเสียของเครื่องยนต์ Kirloskar แบบฉีดโดยตรงลูกสูบเดียวที่แรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 175 kg/cm² 205 kg/cm² และ 225 kg/cm² โดยใช้เอสเตอร์จากน้ำมันลินสีดและน้ำมันลินสีดผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 20% 40% 60% และ 100% ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 100% เป็นเชื้อเพลิง พบว่าที่แรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 175 kg/cm² เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันลินสีดในอัตราส่วน 20% จะมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกดต่ำกว่าอัตราส่วนอื่น และเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกกากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทุกแรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง การเพิ่มแรงดันฉีดการน้ำมันเชื้อเพลิงจะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์เพิ่มขึ้นส่วนมลพิษเช่น CO และ NO_x ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันผสมจะมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 100% เป็นเชื้อเพลิง

Reddy, Babu and Ganesan (2000) ทำการศึกษาผลกระทบจากการเพิ่มแรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยอ้อม ลูกสูบเดียว โดยใช้น้ำมันพืช และน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล ผลปรากฏว่าที่แรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 210 kg/cm² เหมาะสำหรับเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันเมล็ดฝ้ายผสมกับน้ำมันดีเซล ส่วนที่แรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 180 kg/cm² เหมาะสำหรับน้ำมันทานตะวันผสมกับน้ำมันดีเซล

Kurt, Karaosmanoglu and Ozakta (2000) รายงานผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้น้ำมันทานตะวัน ผลปรากฏว่า กำลัง แรงบิด ความดัน

เฉลี่ย และวันค่าลดลง ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล จากการทดสอบระยะยาวเป็นเวลา 50 ชั่วโมง คาร์บอนสะสมบนหัวฉีดเป็นไปตามปกติ

Schumacher, Borgelt, Fosseen and Hires (1995) ทดสอบสมรรถนะและความคงทนของรถกระบะ Dodge รุ่นปี ค.ศ.1991 และ 1992 ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์จแบบฉีดโดยตรง โดยใช้เมธิลเอสเทอร์จากถั่วเหลือง 100% และมีระบบอุ่นน้ำมันก่อนเข้าเครื่องยนต์ โดยทำการทดสอบเป็นระยะทางประมาณ 48,280 กิโลเมตร สำหรับรถกระบะ Dodge 1991 และ 32,187 กิโลเมตร สำหรับกระบะ Dodge 1992 จากการทดสอบพบว่า การใช้เมธิลเอสเทอร์จากถั่วเหลือง 100 % ในรถกระบะ Dodge 1991 ทำให้กำลังเพิ่ม 3% และรถกระบะ Dodge 1992 กำลังลดลง 7% โดยเปรียบเทียบกับรถกระบะที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ส่วนเลขวันลดลง 86% ค่า CO HC พบน้อยกว่าน้ำมันดีเซล และค่า NO_x พบว่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล เศษวัสดุจากการสึกหรอของเครื่องยนต์ในน้ำมันเครื่องพบว่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

Schumacher, Soyulu, Gerpen and Wetherell (1998) ใช้เมธิลเอสเทอร์จากถั่วเหลือง 2% ผสมกับดีเซล 98% เรียกเชื้อเพลิงชนิดนี้ว่า B2 เป็นเชื้อเพลิงในรถกระบะ Dodge รุ่นปี ค.ศ. 1996 ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ 6BTAA เทอร์โบชาร์จ ขนาด 5.9 ลิตร ระบบฉีดโดยตรง โดยทดสอบเป็นระยะทางประมาณ 40,608 ไมล์ พบว่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ย 8.2 กิโลเมตร/ลิตร หลังการทดสอบทำการวิเคราะห์น้ำมันเครื่องเพื่อหาเศษโลหะจากการสึกหรอของเครื่องยนต์ พบว่าเป็นไปอย่างปกติเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่ปริมาณวันค่าลดลงเมื่อเร่งเครื่องยนต์ ระดับของมลพิษเช่น CO HC และ NO_x เป็นไปตามปกติ

Peterson, Thompson, Taberski, Reece and Fleischman (1999) นำรถกระบะขนาดใหญ่ ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ Cummins 5.9 ลิตร เทอร์โบชาร์จอินเตอร์คูลเลอร์ระบบฉีดโดยตรง 6 สูบ มาทดสอบ โดยใช้เมธิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดเรพ 20% ผสมกับน้ำมันดีเซล 80 % โดยมีระบบน้ำมัน 2 ถัง คือถังน้ำมันเอสเทอร์พร้อมฮีตเตอร์เพื่ออุ่นน้ำมัน และถังน้ำมันดีเซล น้ำมันทั้งสองถังจะมาผสมกันในชุดผสมน้ำมันที่ติดตั้งในรถ ควบคุมสัดส่วนการผสมประมาณ 20% ของเอสเทอร์

การทดสอบใช้ระยะทางประมาณ 163,800 กิโลเมตร ซึ่งการทดสอบช่วงระยะทาง 0 ถึง 3,180 กิโลเมตร เป็นการทดสอบช่วงแรกจะใช้น้ำมันดีเซล 100% เป็นเชื้อเพลิง หลังจากนั้นจะใช้น้ำมันผสม ในช่วงการทดสอบแรกที่ใช้ น้ำมันดีเซลพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 8.55 กิโลเมตร/ลิตร และ ช่วงหลังที่ใช้ น้ำมันผสมพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 8.7 กิโลเมตร/ลิตร

ในขณะที่ทำการทดสอบทุกๆ 4,800 กิโลเมตร จะทำการเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างไปทดสอบหาเศษโลหะเนื่องจากการสึกหรอของเครื่องยนต์ ไม่พบสิ่งผิดปกติเนื่องจากการใช้ไบโอดีเซล การสึกหรอเป็นไปอย่างปกติเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

การทดสอบสมรรถนะเพื่อหาค่ากำลัง แรงบิด ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้ทั้งเอสเตอร์ และน้ำมันปาล์ม ซึ่งนำรถขึ้นทดสอบบนแคลชิลไดนาโม โดยทดสอบหลังจากที่รถวิ่งได้ระยะทางประมาณ 2,374 กิโลเมตร 16,898 กิโลเมตร 32,240 กิโลเมตร 35,966 กิโลเมตร 79,180 กิโลเมตร 21,887 กิโลเมตร และสุดท้ายที่ 168,300 กิโลเมตร โดยใช้เมธิลเอสเตอร์ 100% และ 20% เอสเตอร์ผสมกับน้ำมันดีเซล 80% และ น้ำมันดีเซล 100% ปรากฏว่าการใช้ เอสเตอร์ 100% และ 20% เอสเตอร์ผสมกับน้ำมันดีเซล 80% ทำให้กำลังลดลง 4.96% และ 1.47% ปริมาณควันลดลง 3.2% และ เพิ่มขึ้น 8.3% ตามลำดับเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 เชื้อเพลิงทดแทน

เชื้อเพลิงทดแทน หมายถึง เชื้อเพลิงที่สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในเครื่องยนต์ ได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล สำหรับเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น น้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันทานตะวัน น้ำมันต้นสบู่ดำ ฯลฯ รวมถึงน้ำมันผสม และการสกัดมาจากน้ำมันพืช ในการใช้น้ำมันพืชมาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเริ่มมีมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1900 โดยรูดอล์ฟ ดีเซล วิศวกรชาวเยอรมัน ได้สร้างเครื่องยนต์ดีเซลเครื่องแรกโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นเชื้อเพลิง (ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2544) ภายหลังจึงได้มีการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจริง เนื่องจากในช่วงก่อนนั้นเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมมีราคาสูง และคงตัว ต่อมาในปี ค.ศ.1970 ได้เกิดวิกฤตการณ์การขาดแคลนพลังงานปิโตรเลียมขึ้น จึงได้เป็นการจูงจูงประกายให้นักวิจัยเริ่มสนใจพลังงานจากน้ำมันพืชซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลได้ (Auld et al., 1991) ในปี ค.ศ.1846 Rochleder ได้นำเสนอวิธีการเตรียมกลีเซอรอล (Glycerol) ด้วยวิธีการ Ethanolysis หลังจากนั้นการศึกษาและวิจัยเริ่มแพร่หลายทั่วโลก เช่นการทำปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ของน้ำมันพืชซึ่งได้ผลผลิตเป็นเมธิลเอสเตอร์ หรือเอทิลเอสเตอร์ (Ethyl Ester) (Peterson et al., 1990) ที่ประเทศนิวซีแลนด์มีรายงานการค้นพบเอสเตอร์จากไขมันสัตว์ในปี ค.ศ.1982 และนอกจากนั้นในปีเดียวกันที่ประเทศออสเตรเลียได้มีการค้นพบเมธิลเอสเตอร์จากน้ำมันเมล็ดเรพ และในปี ค.ศ.1989 เริ่มโครงการนำร่องในการผลิตไบโอดีเซล

ดีเซลขึ้น และมีการพัฒนาในเชิงอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วในช่วงปี ค.ศ.1990 - 2000 จนกระทั่งในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมากมายและเป็นที่ยอมรับระดับผู้ผลิตอุตสาหกรรมยานยนต์ (สุรศักดิ์ ศรีกุล และคณะ, 2544)

2.2.2 น้ำมันปาล์ม

ปาล์มมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Elaeis Guineensis* Jacq คำว่า *Elaeis* มาจากภาษากรีกแปลว่าน้ำมัน ส่วน *Guineensis* หมายถึงมีต้นกำเนิดมาจาก Guinea Coast สำหรับในประเทศไทยได้มีการนำปาล์มมาปลูกตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งเริ่มปลูกในเชิงการค้าที่จังหวัดกระบี่ และสุราษฎร์ธานีในปี ค.ศ.1968 (Teerin Vanichseni et al., 2545) พันธุ์ที่นิยมปลูกคือ *Tenera* ซึ่งเป็นพันธุ์ผสมระหว่างพันธุ์ *Dura* และ *Pisifera* ซึ่งจะให้ผลผลิตหลังการปลูกประมาณ 3-4 ปี ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งปาล์มอายุได้ 8 ปี และให้ผลคุ้มค่าทางเศรษฐกิจไปจนถึงปีที่ 25 หลังจากนั้นจะให้ผลไม่คุ้มค่า ผลปาล์มจะมีน้ำหนักเฉลี่ย 71% ของน้ำหนักทั้งทะลาย โดยหนึ่งทะลายมีผลตั้งแต่ 400-1500 ผล ผลปาล์มน้ำมันประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อผลปาล์มซึ่งมีปริมาณ 60% ของผล ซึ่งให้น้ำมันปาล์มในปริมาณน้ำมันปาล์มเฉลี่ยประมาณ 22% ของน้ำหนักทั้งทะลายและส่วนที่เป็นเมล็ดซึ่งมีเนื้ออยู่ข้างในเมล็ดจะให้น้ำมันเมล็ดปาล์มในปริมาณน้ำมันปาล์มโดยเฉลี่ยประมาณ 2% ของน้ำหนักทั้งทะลาย หรือ 45%-50% ของเมล็ด (พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล และคณะ) น้ำมันปาล์มที่ได้จากการบีบจะเรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบ และนำไปกลั่นเป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ซึ่งน้ำมันปาล์มที่ผลิตได้ทั้งหมดจะนำไปใช้ในการบริโภค โดยใช้บริโภคในรูปแบบของน้ำมันพืช และใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อาหารสัตว์ นมข้นหวาน บะหมี่สำเร็จรูป ลูกก๊วย ขนมหั้ว ขนมหอยเชี้ยวต่างๆ และใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น สีทาบ้าน เทียนไข สบู่ เครื่องสำอาง และยา เป็นต้น ส่วนที่เหลือจากการบริโภคจะเก็บสะสมไว้ใช้ปัดไป ดังนั้นถ้าสามารถนำน้ำมันปาล์มที่เหลือจากการบริโภคมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ในส่วนที่พอดีกับการบริโภค จะทำให้ผลดีต่ออุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มได้

ศักยภาพของการนำน้ำมันปาล์มมาผลิตเป็นไบโอดีเซล สำหรับประเทศไทยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา น้ำมันพืชดิบส่วนใหญ่จะมาจาก ถั่วเหลือง มะพร้าว และ ปาล์ม พื้นที่ที่ใช้ในการปลูกพืชทั้งสามชนิดในช่วงปี ค.ศ.1998-1999 โดยประมาณได้ดังนี้ ถั่วเหลือง 1.37 ล้านไร่ มะพร้าว 2.066 ล้านไร่ และปาล์ม 1.129 ล้านไร่ จากการสำรวจในช่วงเวลาดังกล่าว การปลูกปาล์มมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในอัตรา 8.48 % แต่สำหรับถั่วเหลืองมีพื้นที่การปลูกลดลง และมะพร้าวนั้นมีพื้นที่การปลูกคงที่ (Teerin Vanichseni et al., 2545) ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าปาล์มจะมีผลผลิตเพิ่มขึ้น

ทุกๆ ปี ประกอบกับการเปรียบเทียบผลผลิตต่อพื้นที่ของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ตามที่แสดงในตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าน้ำมันปาล์มมีศักยภาพการผลิตน้ำมันดีกว่าพืชน้ำมันทุกชนิดในพื้นที่ปลูกที่เท่ากัน และพบว่ามีราคาถูกที่สุดอีกด้วย

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบผลผลิตของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ⁽¹⁾

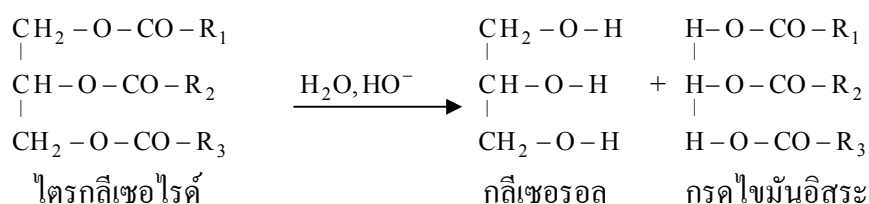
ชนิด	ผลผลิต (ตัน/ha)		ผลผลิตน้ำมันดิบ(ตัน/ha)
ปาล์ม	19.1	FFB	4.8
ถั่วลิสง	5.0	Seed	1.75-2.75
ถั่วเหลือง	2.3/3.1	Seed	0.4 /0.403-0.775
มะพร้าว	1.0	Copra	0.625
เมล็ดละหุ่ง	5.0	Seed	1.75-2.75
เมล็ดงา	1.0	Seed	0.45-0.5

⁽¹⁾ หมายเหตุ จาก Potential Biodiesel Production from Palm Oil for Thailand โดย

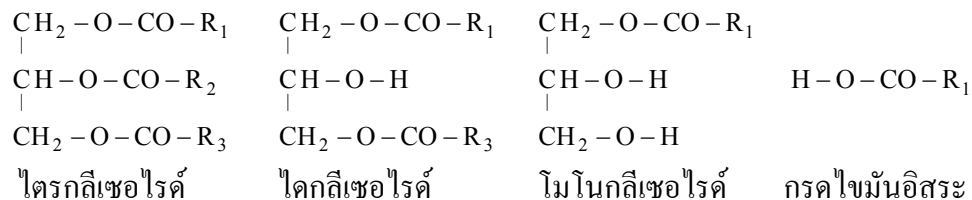
Teerin Vanichseni et al., 2545, Kasetsart J. (Nat.Sci.)36, หน้า 83-97

2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม

น้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์ จะเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว ซึ่งเมื่อย่อยสลายจากการเกิดปฏิกิริยาจะได้กลีเซอรอลที่มีโครงสร้างเป็น $C_3H_8O_3$ กับกรดไขมันอิสระดังรูปที่ 2.1 เนื่องจากในน้ำมันพืชโดยทั่วๆ ไปมีการย่อยสลายเองในธรรมชาติได้บางส่วนแต่ไม่สมบูรณ์ จึงมีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบหลัก มีไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) และมีกรดไขมันอิสระอยู่บ้างดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 การย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์จำพวกไตรกลีเซอไรด์ ($R = C_n H_{2n+1}$)



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมนอกลิเซอไรด์ และกรดไขมัน อิสระ

ปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบจะขึ้นอยู่กับกระบวนการบีบน้ำมันจากผลปาล์มซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ไม่เกิน 5% โรงงานขนาดใหญ่ที่มีกำลังการผลิตสูงกว่า 10 ตัน ทะลายต่อชั่วโมง มีประมาณ 1.68%-3.32% โรงงานที่มีกำลังการผลิตต่ำกว่า 10 ตัน ทะลายต่อชั่วโมง มีประมาณ 2.58%-4.65% และโรงงานขนาดเล็กมีประมาณ 2.86%-3.36% ส่วนไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักจะมีกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึง 94%-96% ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ฉะนั้นจึงทำให้คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมี และทางกายภาพแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันนั้นๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำมันพืช โดยส่วนใหญ่แล้วกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีลักษณะเด่น คือ จุดหลอมเหลวต่ำเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง สำหรับไขมันสัตว์ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวสูงเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง จากการวิจัยพบว่าค่าความหนืดของน้ำมันพืชจะแปรผันตามเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันพืช เช่น Myristic(14:0), Palmitic(16:0), Stearic(18:2), Arachidic(20:0), Behenic(22:0), Linoceric(24:0), Oleic(18:1), Erucic(22:1), Linoleic(18:2) และ Linoleinic(18:3) ซึ่งกรดเหล่านี้จะมีเปอร์เซ็นต์ในน้ำมันพืชที่ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันและแหล่งที่ปลูกน้ำมันพืชนอกจากนั้นขบวนการการผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่ต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงาน อาจทำให้น้ำมันปาล์มดิบหลายชนิดมีคุณสมบัติต่างกัน (Pandey et al., 2000, พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล และคณะ, กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2544)

น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบีบทั้งผลหรือเฉพาะเปลือกของผลปาล์ม จะมีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่สูง เพราะฉะนั้นน้ำมันปาล์มจึงเป็นไขมันบางส่วนที่อุณหภูมิห้อง ส่วนน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบีบเฉพาะเมล็ดของผลปาล์มจะไม่เป็นไขในอุณหภูมิห้อง เนื่องจากน้ำมันเมล็ดปาล์มจะมีกรดไขมันประเภทที่อิ่มตัวน้อย

2.2.4 กระบวนการ Transesterification

เมื่อปี ค.ศ.1946 Rochleder ค้นพบวิธีการเตรียมกลีเซอรอลด้วยกระบวนการ ethanolysis หรือเรียกว่า Transesterification (Peterson et al., 1990) เป็นกระบวนการที่ทำปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืช โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและแอลกอฮอล์มากกว่าที่ทำได้ในปฏิกิริยาเพราะเป็นปฏิกิริยาเป็นชนิดย้อนกลับได้ ผลผลิตที่ได้หลังการทำปฏิกิริยา คือ กลีเซอรอลและเอสเทอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลนิยมเรียกว่า ไบโอดีเซล (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2544)

Peterson et al. (1990), Korus et al. ได้ใช้เมทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน สัดส่วนที่ใช้คือ 100% ของเมทิลแอลกอฮอล์ที่เกินจากปฏิกิริยาสัมพันธ์ หรือสัดส่วนโดยโมล 6:1 เมทิลแอลกอฮอล์กับน้ำมัน และใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วน 1.1% โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชที่ใช้ ไบโอดีเซลที่ได้จะเรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ ดังสมการ

$$\text{MeOH} = 0.225 \times \text{Oil} \quad (2.1)$$

$$\text{KOH} = \text{Oil}/100 \quad (2.2)$$

เมื่อ

Oil คือ ปริมาณของน้ำมันพืชที่ใช้ (ลิตร)

MeOH คือ ปริมาณของเมทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ (ลิตร)

KOH คือ ปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (kg)

นอกจากนี้พวกเขายังใช้เอทิลแอลกอฮอล์ ในสัดส่วน 70% ของเอทิลแอลกอฮอล์ที่เกินจากปฏิกิริยาสัมพันธ์ หรือ สัดส่วนโดยโมลของเอทิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันพืชเป็น 5.1:1 และใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ในส่วน 1.3% โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชที่ใช้ ไบโอดีเซลที่ได้จะเรียกว่า เอทิลเอสเทอร์ ดังสมการ

$$\text{EtOH} = 0.2738 \times \text{Oil} \quad (2.3)$$

$$\text{KOH} = \text{Oil}/85 \quad (2.4)$$

เมื่อ

EtOH คือ ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ (ลิตร)

สำหรับขบวนการการผลิตจะดำเนินการโดยผสมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์กับแอลกอฮอล์ในถังจนใช้เวลาในการละลายประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นสูบน้ำส่วนผสมเข้าถังทำปฏิกิริยาและสูบน้ำมันพืชเข้าผสมกันที่ถังทำปฏิกิริยา ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 4 ถึง 6

ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการสูบน้ำมันออกจากถังทำปฏิกิริยาไปที่ถังพักทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง กลีเซอรอลและเอสเทอร์จะแยกชั้นกัน ส่วนด้านบนจะเป็นเอสเทอร์ และส่วนด้านล่างจะเป็นกลีเซอรอล หลังจากนั้นให้เปิดวาล์วจนกระทั่งกลีเซอรอลไหลออกหมดจึงปิดวาล์ว ส่วนที่เหลือในถังจะเป็นเอสเทอร์

เนื่องจากเอสเทอร์ที่ได้ยังมีส่วนผสมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และแอลกอฮอล์อยู่ ฉะนั้นจึงต้องจัดสารพวกนี้ออกโดยใช้น้ำเป็นตัวชะล้าง ซึ่งทำได้โดยการฉีดสเปรย์ของน้ำลงบนเอสเทอร์อย่างต่อเนื่องในอัตรา 3.75 ลิตรต่อชั่วโมง โดยใช้เวลาประมาณ 20 ถึง 30 ชั่วโมง ปริมาณน้ำที่ใช้ประมาณ 28% ของปริมาณน้ำมัน หลังจากนั้นประมาณ 3-4 วัน น้ำและสิ่งเจือปนจะแยกอยู่ด้านล่าง

2.2.5 คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นมีความสำคัญมาก เพราะคุณสมบัติเหล่านี้จะเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งกำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานต่างๆ มาตรฐานที่ได้รับความเชื่อถือจากนานาชาติคือ มาตรฐานที่กำหนดโดย American Society of Testing Material (ASTM) สำหรับน้ำมันดีเซลก็ได้มีการกำหนดคุณสมบัติเหล่านั้นไว้เป็นมาตรฐานซึ่งเรียกว่าคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นการนำเอาน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล นักวิจัยส่วนใหญ่จะหาคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชแล้วเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และพยายามปรับปรุงแก้ไขโดยวิธีต่างๆ Perterson et al. (1990) and Korus et al. ได้เสนอวิธีการ Transesterification ในขณะที่ Masjuki et al. (1995) นำเสนอวิธีการทำให้น้ำมันพืชใสด้วยน้ำ และแอลกอฮอล์ นอกจากนี้การนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่พอดี จะทำให้คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เช่น Gafar et al. (1995) ใช้น้ำมันปาล์มเอสเทอร์ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนโดยประมาณ 30:70 และ Turgut et al. (1997) ใช้อัตราส่วนน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล 20:80 ซึ่งทำให้น้ำมันเหล่านั้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

2.2.5.1 เลขซีเทนและดัชนีซีเทน

Heywood (1988) กล่าวว่า เลขซีเทนเป็นค่าแสดงคุณภาพการจุดระเบิดของน้ำมัน (Ignition Quality) เครื่องยนต์ดีเซลจะทำงานได้ราบเรียบ ควันไอเสีย เสียงและการติดเครื่องยนต์ได้ง่ายจะขึ้นอยู่กัค่าเลขซีเทน ในการจุดระเบิดของเครื่องยนต์จะถูกกำหนดโดยเลขซีเทน กล่าวคือ ถ้าเชื้อเพลิงมีเลขซีเทนต่ำ จะมีช่วงความหน่วงในการจุดระเบิดยาว (Long Ignition

Delay) ซึ่งจะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปสะสมในห้องเผาไหม้ก่อนได้รับการเผาไหม้ จึงทำให้เกิดการจุดระเบิดพร้อมกันและทำให้อัตราการเพิ่มความดันสูง รวมถึงความดันสูงสุดมีค่าสูงด้วยจึงทำให้เกิดการน็อกขึ้น ส่วนเชื้อเพลิงที่มีเลขซีเทนสูง จะมีช่วงความหน่วงในการจุดระเบิดสั้น (Short Ignition Delay) การจุดระเบิดจะเกิดก่อนที่เชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะถูกฉีดเข้าไป ฉะนั้นการเผาไหม้เกิดขึ้นต่อเนื่อง การควบคุมความดันจะเกิดขึ้นโดยอัตราการฉีดจึงทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบไม่เกิดการน็อก การกำหนดเลขซีเทนโดยอ้างอิงจากเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์ 2 ชนิด ชนิดหนึ่งมีช่วงความหน่วงการจุดระเบิดสั้น จึงมีคุณสมบัติในการต้านทานการน็อกสูง คือ Cetane หรือ n-hexadecane, $C_{16}H_{34}$ โดยจะกำหนดให้มีเลขซีเทนเป็น 100 และให้เชื้อเพลิงอีกชนิดหนึ่งมีช่วงความหน่วงการจุดระเบิดยาว จึงมีคุณสมบัติในการต้านทานการน็อกต่ำ คือ ไอโซซีเทน (Isocetane หรือ heptamethylnonane, HMN) โดยจะกำหนดให้มีเลขซีเทน 15 ดังนั้นการหาค่าเลขซีเทน สามารถหาได้โดยการคำนวณอัตราส่วนผสมของสารอ้างอิงทั้งสองโดยปริมาตรตามสมการ

$$CN = \text{ร้อยละของ n-cetane} + 0.15 \times \text{ร้อยละของ HMN} \quad (2.5)$$

เนื่องจากสมการดังกล่าว เป็นสมการการหาค่าเลขซีเทนของสารอ้างอิงที่เป็นสารผสมระหว่าง n-cetane กับ HMN สำหรับวิธีการหาค่าเลขซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง คือ การหาค่าความหน่วงการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่นำมาทดสอบ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสารอ้างอิงที่ค่าความหน่วงการจุดระเบิดเดียวกัน ซึ่งค่าเลขซีเทนสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนผสมที่ได้จากสารอ้างอิงตามสมการที่ 2.5

วิธีการทดสอบตามมาตรฐานจะใช้เครื่องยนต์ที่เรียกว่า CFR Engine กำหนดโดย ASTM D613 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์สูบเดี่ยวที่สามารถเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการอัดได้ สภาพะการทำงาน of เครื่องยนต์ 900 รอบต่อนาที อุณหภูมิสารหล่อเย็น 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศเข้า 65.6 องศาเซลเซียส จังหวะการฉีดเท่ากับ 13° BTC และความดันการฉีดเชื้อเพลิงเท่ากับ 10.3 MPa วิธีการทดสอบนั้นกระทำโดยให้เครื่องยนต์ทำงานตามสภาวะดังกล่าวโดยใช้เชื้อเพลิงที่ต้องการหาเลขซีเทนแล้วเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการอัดจนการเผาไหม้เริ่มต้นที่ TDC (ช่วงความหน่วงการจุดระเบิด จะเท่ากับ 13° BTC หรือ 24 ms ที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที) หลังจากนั้นให้ใช้เชื้อเพลิงอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิง และปรับอัตราส่วนการอัดจนให้ช่วงความหน่วงการจุดระเบิดเท่ากัน คือ 13° BTC เมื่อได้อัตราส่วนการอัดที่ต้องการจากเชื้อเพลิงทดสอบ มีค่าอยู่ระหว่าง ค่าที่ต้องการจากเชื้อเพลิงอ้างอิงผสมที่สัดส่วนต่างกัน 2 แบบ ที่มี

เลขซีเทนต่างกันไม่เกิน 5 เลขซีเทนของเชื้อเพลิงทดสอบ สามารถหาเลขซีเทนของเชื้อเพลิงได้โดยเทียบสัดส่วนจากเลขซีเทน ของเชื้อเพลิงอ้างอิง 2 ชนิด

เนื่องจากการทดสอบค่าเลขซีเทนมีค่าใช้จ่ายสูง จึงมีการใช้พารามิเตอร์อื่น ในการกำหนดคุณภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ได้แก่ ดัชนีซีเทน ซึ่งคิดมาจากความถ่วง API [ความถ่วง API มีหน่วยเป็นอุณหภูมิในหน่วยของสฟาเรนไฮต์ โดยที่ $API = (141.5/ความถ่วงจำเพาะที่ 60^{\circ}F) - 131.5$] และจุดเดือดกลาง (อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงระเหยไป 50%) และดัชนี ดีเซล ซึ่งพิจารณาจากข้อเท็จจริงของคุณสมบัติเกี่ยวกับการจุดระเบิดของไฮโดรคาร์บอน โดยที่ นอร์แมลพาราฟิน (n-paraffin) มีคุณสมบัติการจุดระเบิดสูง ส่วนอะโรแมติกและแนปเทนิค (aromatic และ naphthenic) มีคุณสมบัติการจุดระเบิดต่ำสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ดัชนีดีเซล} = \text{จุดแอนิลีน}(^{\circ}F) \times \frac{\text{ความถ่วง API}}{100} \quad (2.6)$$

จุดแอนิลีน เป็นอุณหภูมิต่ำสุดซึ่งเชื้อเพลิงและแอนิลีนปริมาตรเท่ากัน สามารถผสมกันได้พอดี หาได้ตามมาตรฐาน ASTM D611 โดยอะโรแมติกจะมีจุดแอนิลีนต่ำและ พาราฟินจะมีจุดแอนิลีนสูง ในทำนองเดียวกัน ถ้าความถ่วง API สูงจะแสดงถึงความถ่วงจำเพาะ ต่ำและมีคุณสมบัติการจุดระเบิดสูง ดัชนีดีเซลมักจะให้ค่าที่สูงกว่าเลขซีเทนเล็กน้อย

สำหรับเลขซีเทนของน้ำมันพืชมีการนำมาทดสอบอย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นน้ำมันพืชดิบ น้ำมันพืชผสมกับดีเซล และเอสเตอร์ ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2544) รายงานค่าเลขซีเทนตาม ASTM ของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (DF2) มีค่าเลขซีเทนอยู่ในช่วง 40-60 และน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีค่าเลขซีเทนอยู่ในช่วงนี้ทั้งนั้น ในขณะที่ Pandey et al. (2000) รายงานค่าเลขซีเทนของน้ำมันพืชมีค่าอยู่ระหว่าง 35-45 ส่วนค่าเลขซีเทนและดัชนีซีเทนของน้ำมันพืชและเอสเตอร์ชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.2 ค่าเลขซีเทนของน้ำมันชนิดต่างๆ

PO	PME	SME	RME	SFME	JO	JME	LME	CCME
----	-----	-----	-----	------	----	-----	-----	------

51[4]	64[1]	56[3]	51-59.7[3]	61[3]	40-45[7]	50[7]	57[8]	62.7[3]
52[5]	62.4[2]	54.8[12]	61.8[6]	46.6[10]			57.8[13]	
	64-70[3]	51.6[14]	54.4[9]	45.8[13]				
		55[15]	54.4[11]					
		51.4[16]	61.8[12]					

PO = Palm Oil

PME = Palm Oil Methyl Ester

SME = Soybean Oil Methyl Ester

RO = Rapeseed Oil

RME = Rapeseed Oil Methyl Ester

SFME = Sunflower Methyl Ester

JO = Jatropha Oil

JME = Jatropha Oil

LME = Linseed Oil Methyl Ester

CCME = Coconut Oil Methyl Ester

[1] Sapuan et al. (1996)

[2] May (1995)

[3] Schafer (1995)

[4] Masjuki et al. (1995)

[5] Tang et al. (1995)

[6] Peterson et al. (1999)

[7] Senthil et al. (2000)

[8] Bose et al. (2000)

[9] Korus et al.

[10] Kaufman et al. (1984)

[11] Auld et al. (1991)

[12] Peterson et al. (1990)

[13] Prankl et al. (1996)

[14] Schumacher et al. (1996)

[15] Hofman et al. (2002)

[16] Fosseen (1994)

ตารางที่ 2.3 ค่าดัชนีชี้แทนของน้ำมันชนิดต่างๆ

PO	PME	SF	JO	JME
37[2]	50-52[1]	41.8[3]	35[4]	51[4]
	53.5[5]			

PO = Palm Oil

PME = Palm Oil Methyl Ester

SF = Sunflower Oil

SFME = Sunflower Oil Methyl Ester

JO = Jatropha Oil

JME = Jatropha Oil

[1] Sapuan et al. (1996)

[2] Hitam et al. (1995)

[3] Kurt et al. (2000)

[4] Raju et al. (2000)

[5] Gafar et al. (1995)

2.2.5.2 ความหนืด

เมื่อของไหลรับแรงเฉือนระหว่างชั้นของของไหลด้วยความเค้นเฉือน τ ทำให้เกิดอัตราความเครียดเฉือนขึ้นซึ่งเป็นปฏิภาคโดยตรงกัน สัมประสิทธิ์ของการแปรผันจะถูกกำหนดเป็นคุณสมบัติเรียกว่าความหนืดสมบูรณ์ μ นั่นคือ

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.7)$$

สมการ (2.7) เรียกว่าสมการความหนืดของนิวตัน ซึ่งค่าคงที่ของการแปรผัน μ ในสมการจะเรียกว่า สัมประสิทธิ์ความหนืด (Coefficient of Viscosity) หรือความหนืดสมบูรณ์ซึ่งมีหน่วยเป็น kg/m.s

งานด้านวิศวกรรมจำนวนมากที่มักจะพิจารณาค่าความหนืด μ เทียบต่อความหนาแน่น ρ เราเรียกอัตราส่วนดังกล่าวนี้ว่า ความหนืดคินแมติกส์ (Kinematic Viscosity) หน่วยของความหนืดคินแมติกส์ ในระบบเอสไอ คือ m^2/s ในระบบเมตริกมีหน่วยเป็น cm^2/s หรือเรียกว่า Stoke แต่หน่วยที่นิยมใช้กันคือ centistoke ซึ่งเท่ากับ 0.01 stoke

ค่าความหนืดคินแมติกส์เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเชื้อเพลิงซึ่งแปรตามอุณหภูมิ จากรายงานของ ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2544), Bagby et al. (1993), Ryan III et al. (1984), Heywood (1988) และ Taylor (1894) พบว่าค่าความหนืดล้วนแต่มีผลกระทบต่อลำสเปร์ยของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในเครื่องยนต์ดีเซล เช่น การแตกเป็นละอองฝอย การพุ่งของลำสเปร์ย และขนาดของหยดเชื้อเพลิง กล่าวคือ การแตกเป็นละอองฝอย และการพุ่งของลำสเปร์ยจะมีผลกระทบต่อการผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง เช่นในกรณีของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรงที่มีหัวฉีดหลายรูและการไหลวนอากาศต่ำ การพุ่งของเชื้อเพลิงที่มากเกินไปทำให้เชื้อเพลิงไปกระทบกับผนังกระบอกสูบที่เย็นทำให้เกิดอัตราการผสมที่ต่ำ และเกิดการดับ (Quenching) จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และมีมลพิษเพิ่มขึ้น ขณะน้ำมันที่ยังไม่ได้รับการเผาไหม้ โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้น้ำมันพืชที่มีความหนืดสูงเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล จะเกิดการชะล้างบนลูกสูบและ

กระบอกสูบลงไปปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง เป็นผลให้เครื่องยนต์เสียหายได้ (ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2544, Heywood, 1988, Pandey et al., 2000) ส่วนในกรณีของเครื่องยนต์ดีเซลที่ฉีดโดยอ้อมที่มีการไหลวนสูงและมีผนังห้องเผาไหม้ที่เป็นห้องเผาไหม้ลว่งหน้ามีอุณหภูมิสูง ต้องการให้เชื้อเพลิงฉีดพุ่งเข้าไปกระทบกับผนังเพื่อทำให้เกิดการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศดีเนื่องจากการหมุนวนและอุณหภูมิผนังของห้องเผาไหม้ที่สูง (Heywood, 1988)

จากการรายงานของเอกสารอ้างอิงดังกล่าวมา พบว่าผลกระทบจากความหนืดของน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืชต่อค่าสเปรย์ของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ มีผลตรงกันข้ามกัน ดังนี้

ก) ผลกระทบจากความหนืดที่มีต่อค่าสเปรย์ของน้ำมันดีเซล

ค่าสเปรย์ของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อเชื้อเพลิงพุ่งออกจากหัวฉีดจะเกิดการไหลแบบปั่นป่วน และจะกระจายออกไปผสมกับอากาศ โดยรอบผิวด้านนอกของเชื้อเพลิงที่พุ่งออกจากหัวฉีดจะแตกเป็นหยด หรือละอองขนาดเล็กที่ใกล้กับทางออกหัวฉีด แกนของค่าสเปรย์ที่ออกจากหัวฉีดและเข้าไปในห้องเผาไหม้จะแตกเป็นหยดขนาดต่าง ๆ เมื่อเข้าไปได้ระยะหนึ่งจะเรียกว่า ความยาวที่แตกเป็นละอองฝอย เมื่อมวลเชื้อเพลิงเคลื่อนที่ออกจากหัวฉีด มวลของอากาศภายในสเปรย์จะเพิ่มขึ้นหัวสเปรย์จะบานออกเป็นมุมสเปรย์ ซึ่งมุมสเปรย์มีผลต่อการพุ่งของสเปรย์ และการแตกเป็นละอองฝอย

Taylor (1894) หาค่ามุมของสเปรย์โดยเป็นฟังก์ชันของค่าต่าง ๆ โดยวิธีวิเคราะห์มิติได้สมการดังนี้

$$\theta = \phi_1 \left(\frac{\mu \rho D}{\mu g_0}, \frac{\gamma}{\mu u}, \frac{\rho_a}{\rho}, \frac{\mu_a}{\mu}, R_1, \dots, R_n \right) \quad (2.8)$$

จากสมการ 2.8 ผลกระทบในสมการคือ ค่าเลขเรย์โนลด์ ซึ่งค่าความหนืดที่ลดลงจะทำให้เลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่าของสเปรย์แตกเป็นละอองฝอยเพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ นอกจากรูปร่างของสเปรย์จะเป็นสิ่งสำคัญต่อการกระจายของเชื้อเพลิงแล้ว การแตกเป็นหยดเล็กๆ จำนวนมากของเชื้อเพลิงก็จำเป็นด้วย ทั้งนี้เพื่อให้เกิดพื้นที่ผิวที่ใหญ่ซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงสามารถระเหยได้เร็ว

ข) ผลกระทบจากความหนืดที่มีต่อค่าสเปรย์ของน้ำมันพืช

สำหรับในกรณีของน้ำมันพืช ผลกระทบจากความหนืดที่มีต่อค่าของสเปิร์ตตรงกันข้ามกับน้ำมันดีเซล จากรายงานของ ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2544), Bagby et al. (1993) และ Ryan III et al. (1984) พบว่าน้ำมันพืชที่มีความหนืดสูงจะมีการฟุ้งของล้ำมันดำ และมุมของล้ำมันดำมากกว่าในกรณีของน้ำมันดีเซล DF-2 ที่มีความหนืดต่ำกว่ามาก จากรายงานของ เอกสารอ้างอิงดังกล่าว พบว่าการอุ่นน้ำมันพืชเพื่อลดความหนืดให้เท่ากับน้ำมันดีเซลจาก 40 cSt ลดลงเป็น 4 cSt จะเพิ่มการฟุ้งของล้ำมันดำ และทำให้มุมสเปิร์ตลดลง

ผลกระทบจากความหนืดต่อขนาดหยดเชื้อเพลิง ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2544) กล่าวว่า การอุ่นร้อนน้ำมันจนทำให้ความหนืดลดลง ทำให้การเป็นละอองฝอยน้อยลงคือขนาดของหยดเชื้อเพลิงใหญ่ขึ้นจากผลของความหนืดของน้ำมันทั้งสองที่มีต่อล้ำมันดำตรงกันข้าม ซึ่งนักวิจัยได้ให้เหตุผลดังนี้

ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2544) ให้เหตุผลว่า การอุ่นร้อนน้ำมันพืชนั้นทำให้การเป็นฝอยละอองน้อยลง คือ เม็ดละอองใหญ่ขึ้น ดังนั้นตามหลักกลศาสตร์ หากมีความเร็วเท่ากันจะต้องทะลุวงมากขึ้น เพราะการที่มีความหนืดน้อยลงไม่ได้หมายความว่าจำเป็นต้องเป็นฝอยละเอียดมากขึ้นเสมอไป แม้ค่าเลขเรโนลด์จะมากขึ้น แต่ค่าเลขเรโนลด์ต่อค่าเลขเวเบอร์ จะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการกำหนดละอองฝอยก็เพิ่มขึ้นด้วย ในการทำให้ร้อนขึ้นนั้นค่าความตึงผิวที่ลดลงจะมีปริมาณน้อยกว่าความหนืด ดังนั้นค่าเลขนี้จึงสูงขึ้น ซึ่งหมายความว่า การเป็นละอองฝอยจะน้อยลง การทะลุวงที่มากขึ้นย่อมแสดงว่าค่าเลขนี้มีผลต่อขนาดละอองมากกว่าค่าเลขเรโนลด์

Bagby et al., (1993) ได้ทดลองฉีดเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันพืชเข้าไปในห้องเผาไหม้จำลองที่มีอุณหภูมิสูงบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนเพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ และทำการวิเคราะห์ปฏิกิริยาเคมีของล้ำมันดำสเปิร์ตเชื้อเพลิงระหว่างการฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้จำลอง พบว่าเกิดปฏิกิริยาเคมีของน้ำมันพืชระหว่างที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง คือการรวมตัวของไอน้ำมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยตามขอบของล้ำมันดำสเปิร์ต จึงทำให้เกิดการระเหยของน้ำมันภายในขอบสเปิร์ตเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้สเปิร์ตบานออกและมุมสเปิร์ตเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการรวมตัวของของเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงภายในแกนสเปิร์ต ทำให้ภายในแกนสเปิร์ตเกิดปฏิกิริยา โพลีเมอร์ไรเซชันในแกนสเปิร์ตเป็นเหตุให้แกนสเปิร์ตหดสั้นลง จึงทำให้เกิดการฟุ้งของล้ำมันดำน้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของน้ำมันพืช เช่นค่าความหนืดสูง องค์ประกอบของน้ำมันพืช ซึ่งล้วนแต่มีผลกระทบต่อล้ำมันดำสเปิร์ตทั้งนั้นส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง

สำหรับค่าความหนืดคิเนแมติกส์ของน้ำมันพืชมีการนำมาทดสอบอย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นน้ำมันพืชดิบ น้ำมันพืชผสมกับดีเซล และเอสเตอร์ Ferguson et al. (2001) รายงานค่าความหนืดคิเนแมติกส์ของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (DF2) ตามมาตรฐาน ASTM มีค่าเลขซีเทนอยู่ระหว่าง 1.9-4.1 cSt ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2544) รายงานค่าความหนืดของน้ำมันพืชดิบส่วนใหญ่มีความหนืดสูงกว่าดีเซลประมาณ 10-20 เท่า และ Pandey et al. (2000) รายงานค่าความหนืดของน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 27 cSt ค่าความหนืดคิเนแมติกส์ของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 2.4 และ 2.5

ตารางที่ 2.4 ค่าความหนืดคิเนแมติกส์ของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ที่ 40 °C ซึ่งมีหน่วยเป็น cSt

PO	OV	SO	RO	SF	JO	CRO
45.2[1]	46.5[4]	33.9[4]	46.68[7]	34.2[4]	50[5]	32.8[4]
24.3[2]					49.93[6]	
40.85[3]						

PO = Palm Oil

OV = Olive Oil

SO = Soybean Oil

RO = Rapeseed Oil

SF = Sunflower Oil

JO = Jatropha Oil

CRO = Corn Oil

[1] Sapuan et al. (1996) [2] Hitam et al. (1995) [3] Tang et al. (1995)

[4] Turgut (1997) [5] Raju et al. (2000) [6] Kumar et al. (2000)

[7] Auld et al. (1991)

ตารางที่ 2.5 ค่าความหนืดคินแมติกส์ของเอสเทอร์น้ำมันชนิดต่างๆ ที่ 40 °C ซึ่งมีหน่วยเป็น cSt

PME	SME	RME	SFME	JME	LME	CCME
4.71[1]	4.1[10]	4.2[3]	4[3]	5.51[11]	3.7[3]	2.7[3]
4.5[2]	3.89[16]	5.65[9]	4.22[14]	5.56[12]	3.7[17]	
4.3-4.5[3]	4.7[18]	6[13]	4.5[17]			
4.97[4]	5.7[19]	6.2[15]				
4.71[5]		5.65[16]				
4.75[7]						

PME = Palm Oil Methyl Ester

SME = Soybean Oil Methyl Ester

RME = Rapeseed Oil Methyl Ester

SFME = Sunflower Methyl Ester

JME = Jatropha Oil

LME = Linseed Oil Methyl Ester

CCME = Coconut Oil Methyl Ester

- | | | |
|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| [1] Sapuan, et al. (1996) | [2] May et al. (1995) | [3] Schafer. (1995) |
| [4] Gafar et al. (1995) | [5] Masjuki et al. (1995) | [6] Hitam et al. (1995) |
| [7] Kassim et al. (1995) | [8] Tang et al. (1995) | [9] Peterson et al. (1999) |
| [10] Scholl et al. (1993) | [11] Raju,et al. (2000) | [12] Kumar et al. (2000) |
| [13] Korus et al | [14] Kaufman et al. (1984) | [15] Auld et al. (1991) |
| [16] Peterson et al. (1990) | [17] Prankl et al. (1996)) | [18] Schumacher et al. (1996) |
| [19] Hofman et al. (2002) | | |

2.2.5.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง คือปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงให้ออกมาในขณะที่เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ที่ความดันคงที่ต่อหนึ่งหน่วยมวลหรือหนึ่งหน่วยปริมาตรค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนและไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถหาได้จากเครื่องมือที่เรียกว่า บอมคาลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล DF2 ตาม ASTM จะมีค่า 42.5 MJ/kg และค่าความร้อนของน้ำมันพืช รายงานโดย ทวิช จิตร

สมบุรณ์ (2544) มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อยประมาณ 10-15% ในขณะที่ Pandey et al. (2000) รายงานค่าความร้อนของน้ำมันพืชมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลโดยมีค่าประมาณ 88-94% ของน้ำมันดีเซล สำหรับค่าความร้อนของน้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดปาล์ม และปาล์มเอสเตอร์ รายงานโดย Sapuan et al. (1996) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 38.75-41.5 MJ/kg

2.2.5.4 การกลั่นตัว

ความสามารถในการระเหยของน้ำมันดีเซลนั้นชี้วัดโดยค่าคุณสมบัติการกลั่นตัว ด้วยวิธีของ ASTM D-86 หรือ IP 123 ซึ่งวิธีทดสอบก็คือ การทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอและบันทึกอุณหภูมิของไอเชื้อเพลิงสำหรับแต่ละเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันที่กลายเป็นไอตลอดช่วงในการกลั่นตัว

คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงนี้มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบปลายกลางและความเร็วรอบสูง การใช้เชื้อเพลิงที่ระเหยยากนั้นจะทำให้ให้น้ำมันฉีดเป็นฝอยไม่ดี ผลคือเครื่องยนต์กำลังลดลง ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง หากใช้เชื้อเพลิงที่ระเหยง่ายเกินไปจะทำให้เกิดภาวะชะงักตัวของไอ ซึ่งจะทำให้การฉีดของเชื้อเพลิงออกจากหัวฉีดไปได้ระยะทางที่ไม่ไกลพอทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง ถ้าหากอุณหภูมิที่น้ำมันกลั่นออกมา 10% สูงจะทำให้เครื่องยนต์ติดยาก ส่วนอุณหภูมิของน้ำมันกลั่นที่ 90 % ต่ำ จะช่วยลดการสะสมของคาร์บอนและการปนเปื้อนของน้ำมันเครื่อง (ธารง โชตะมั่งสะ และคณะ, 2539) จากรายงานการวิจัยต่างๆ พบว่าน้ำมันพืชดิบมีค่าการกลั่นตัวที่ 10% มีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 2 เท่า และมีค่าการกลั่นที่ 90% มีอุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพืชดิบเป็นเชื้อเพลิงติดได้ยาก และมีการสะสมของคาร์บอนสูง นอกจากนั้นยังเกิดการปนเปื้อนของน้ำมันเครื่องด้วย จากรายงานของ Stone (1999) กล่าวว่า สาเหตุที่น้ำมันพืชดิบมีค่าเลขซีเทนต่ำเนื่องจากการแตกกลายเป็นไอช้า เพราะว่าอุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 10% ถึง 80% สูง และช่วงอุณหภูมิห่างกันมากกว่าน้ำมันดีเซล โดยทั่วไปจุดเดือดของน้ำมันดีเซลจะอยู่ที่ประมาณ 180-360 องศาเซลเซียส ค่าการกลั่นตัวของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว DF2 ตาม ASTM ที่อัตราการระเหยน้ำมันโดยปริมาตร 90% จะต้องมียุณหภูมิช่วง 282 – 338 องศาเซลเซียส (Ferguson et al., 2001) ในตารางที่ 2.6 แสดงค่าการกลั่นตัวของน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติการกลั่นตัวของน้ำมันปาล์ม

%การกลั่น โดยปริมาตร	Crude Palm Oil		Palm Oil Methy Esters		
	Tang et al.,(1995)	Hitam et al.,(1995)	May et al., (1995)	Gafar et al.,(1995)	Kassim et al.,(1995)
10%			330	319	309
20%			331	320	323
30%			-	323	-
40%			-	325	-
50%	335		334	327	328
60%			-	332	-
70%			-	340	-
80%			-	346	-
90%	352	359	343	-	341
100%	352		363	346	349

2.2.5.5 จุลวาทไฟ

จุลวาทไฟของเชื้อเพลิง คือ อุณหภูมิซึ่งเชื้อเพลิงจะก่อให้เกิดส่วนผสมของไอน้ำมันและอากาศที่จุดไฟได้ เหนือผิวหน้าของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อมีการใช้เปลวไฟเป็นตัวล่อ ซึ่งมีวิธีการทดสอบสำหรับเชื้อเพลิง คือ วิธีการของ Pensky-Martens Closed (ASTM D-93 –IP34) สำหรับจุลวาทไฟของน้ำมันดีเซล DF2 ตาม ASTM D93 ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส (Ferguson et al., 2001) ในกรณีของน้ำมันพืชจุลวาทไฟจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เครื่องยนต์ติดยาก Hitam et al. (1995) รายงานจุลวาทไฟของน้ำมันปาล์มดิบมีค่า 240 องศาเซลเซียส และ Tang et al. (1995) รายงานจุลวาทไฟของน้ำมันปาล์มดิบมีค่า 266 องศาเซลเซียส ในขณะที่จุลวาทไฟของเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มรายงานโดย May et al. (1995), Gafar et al. (1995) และ Kassim et al. (1995) มีค่า 174 186 และ 188 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยทั่วไปจุลวาทไฟของน้ำมันพืชดิบจะมีค่าอยู่ระหว่าง 220-280 องศาเซลเซียส (Pandey et al., 2000)

2.2.5.6 ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของน้ำมันพืชจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย Ferguson et al. (2001) รายงานค่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล DF2 ตาม ASTM มีค่าอยู่ระหว่าง $820-860 \text{ kg/m}^3$ สำหรับค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบรายงานโดย Sapuan et al. (1996) และ Tang et al. (1995) มีค่า 912 และ 915 kg/m^3 ส่วนค่าความหนาแน่นของปาล์มเอสเตอร์รายงานโดย Sapuan et al. (1996) และ Kassim et al. (1995) มีค่า 912 และ 876 kg/m^3 ตามลำดับ นอกจากนั้นค่าความหนาแน่นของน้ำมันพืชชนิดอื่น เช่น น้ำมันทานตะวันดิบมีค่า 921 kg/m^3 น้ำมันถั่วเหลืองดิบมีค่า 916 kg/m^3 (Turgut et al., 1997) น้ำมันเมล็ดสบู่ดำมีค่า $918-940 \text{ kg/m}^3$ (Raju et al., 2000) และ เอสเตอร์ของมันมีค่า $885-880 \text{ kg/m}^3$ (Kumar et al., 2000)

2.2.5.7 จุดไหลเท

จุดไหลเทคืออุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังสามารถไหลได้ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ซึ่งการวัดนั้นใช้วิธี ASTM D-97 Hitam et al. (1995) รายงานจุดไหลเทของน้ำมันปาล์มดิบมีค่า 12.8 องศาเซลเซียส และน้ำมันดีเซลมีค่า 15 องศาเซลเซียส May et al. (1995) รายงานจุดไหลเทของปาล์มเอสเตอร์มีค่า 16 องศาเซลเซียส และ Gafar et al. (1995) รายงานจุดไหลเทของปาล์มเอสเตอร์มีค่า 12 องศาเซลเซียส

2.2.5.8 จุดเกิดหมอก

จุดเกิดหมอกคือ การที่โมเลกุลจับตัวกันเป็นผลึกทำให้ข้นและไหลเทลำบาก จุดเกิดหมอกของน้ำมันพืชรายงานโดย Pandey et al. (2000) มีค่าอยู่ระหว่าง 17–18 องศาเซลเซียส

2.2.5.9 กำมะถัน

ผลของกำมะถันต่อเครื่องยนต์คือ กำมะถันที่ถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้พร้อมกับเชื้อเพลิง จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดกำมะถันออกไซด์และเมื่อกำมะถันออกไซด์รวมตัวกับความชื้น ทำให้เกิดเป็นกรดกำมะถันที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์จะทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์ ค่ากำมะถันในน้ำมันพืชรวมทั้งเอสเตอร์มีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลมาก

2.2.6 สมรรถนะของเครื่องยนต์

สมรรถนะของเครื่องยนต์เช่น กำลัง แรงบิด ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ การแพร่มลพิษของไอเสีย ความคงทนของเครื่องยนต์ ได้มีการทดสอบอย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันพืช ซึ่งการทดสอบนั้นจะใช้ไดนาโมมิเตอร์เป็นเครื่องทดสอบโดยแบ่งการทดสอบได้ดังนี้ คือ การทดสอบบนแท่นไดนาโม โดยมีเฉพาะเครื่องยนต์วางบนแท่นทดสอบทั้งระยะสั้นและระยะยาวเพื่อหาความคงทนของเครื่องยนต์ ส่วนการทดสอบอีกแบบหนึ่งคือการทดสอบบนแคลชีลไดนาโม ซึ่งการทดสอบแบบนี้จะใช้รถยนต์ทั้งคันขึ้นบนแคลชีลไดนาโมส่วนใหญ่จะทดสอบในระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะเท่านั้น สำหรับการทดสอบระยะยาวส่วนมากจะใช้รถยนต์วิ่งบนถนนโดยตรง เพราะฉะนั้นการทดสอบสมรรถนะจะต้องหาค่าที่ใช้ในการกำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์ ได้แก่

2.2.6.1 พารามิเตอร์ใช้ในการกำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์

ก) กำลังเบรก

กำลังเบรก เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาค้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งานจริง การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งมีอยู่หลายชนิดโดยจะวัดออกมาในรูปของแรงบิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์กำลังเบรกสามารถหาได้จาก

$$P_b = \frac{2\pi NT}{60} \quad (2.9)$$

เมื่อ

P_b คือ กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (kW)

T คือ ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ (N-m)

N คือ ความเร็วรอบของเพลาค้อเหวี่ยง (รอบต่อนาที)

ข) การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

ในการทดสอบเครื่องยนต์ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อกำลังเบรกที่ให้ออกมาและเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตงานออกมา ซึ่งหาได้จาก

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{P_b}$$

เมื่อ

$bsfc$ คือ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (g/kW-h)

\dot{m}_f คือ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง (g/h)

P คือ กำลังเบรคของเครื่องยนต์ มีหน่วยเป็น (kW)

ค) อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง

พลังงานความร้อนที่เครื่องยนต์ได้รับจะมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน และต้องใช้อากาศที่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาของการเผาไหม้กับเชื้อเพลิง ฉะนั้นจึงมีการกำหนดพารามิเตอร์อัตราส่วนผสมให้พอดี ซึ่งเรียกว่า

$$\text{อัตราส่วนอากาศเชื้อเพลิง} \quad (A/F) = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (2.11)$$

$$\text{อัตราส่วนเชื้อเพลิงอากาศ} \quad (F/A) = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad (2.12)$$

ในช่วงการทำงานปกติ สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟทั่วไปที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนจะมีอัตราส่วนทั้งสองคือ $12 < A/F < 18$ ($0.056 < F/A < 0.083$) และสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดที่ใช้น้ำมันดีเซลนั้นจะมีการเผาไหม้ที่อัตราส่วนผสมบาง (Lean burn)

2.2.6.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะสั้น

เป็นการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันพืชแล้วนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยมักเปรียบเทียบ กำลัง แรงบิด และความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ งานวิจัยส่วนมากจะใช้เงื่อนไขในการวัดคือ ภาระเต็มที่มีความเร็วรอบนั้นๆ Taylor (1894) รายงานภาระเต็มทีนั้น เกิดขึ้นที่อัตราส่วนอากาศเชื้อเพลิงหนาเล็กน้อย ซึ่งสังเกตได้จากควันเริ่มดำ (สีเทา) จากผลการวิจัยแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ ด้อยกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย เสมอกับน้ำมันดีเซล และดีกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย โดยเฉพาะการรายงานอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคส่วนใหญ่ จะให้ผลว่าค่าน้ำมันพืชสูงกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย

Kaufman and Ziejewski (1984) รายงานผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เมธิลเอสเตอร์จากน้ำมันทานตะวันเป็นเชื้อเพลิง โดยทดลองวัดสมรรถนะที่

ความเร็วรอบต่างๆ ขณะภาระเต็มที่ จากผลการทดลอง พบว่าค่าความหนาแน่นและความหนืดที่สูงของเมธิลเอสเทอร์จะทำให้อัตราการไหลโดยมวลของเมธิลเอสเทอร์สูงกว่าน้ำมันดีเซล 8.6% ในขณะที่ค่าความร้อนของเมธิลเอสเทอร์มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 12% ส่งผลให้พลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ของเมธิลเอสเทอร์มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 5.3% นอกจากนั้นยังทำให้กำลังเบรกลดลง 5.8% เมื่อเปรียบเทียบการใช้้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ส่วนค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค และอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เมธิลเอสเทอร์จะมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย และเลขวันคามีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซล

Turgut (1997) รายงานผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันพืช 4 ชนิดและน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล โดยเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ผลปรากฏว่า ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพืชและน้ำมันผสมมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล สืบเนื่องมาจากค่าความหนาแน่นและความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล ส่วนกำลังเบรคและทอร์คของเครื่องที่ใช้ น้ำมันพืชและน้ำมันผสมจะมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับค่าความร้อนของน้ำมันพืชและน้ำมันผสมที่มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ในขณะที่เลขวันคามีค่าน้ำมันพืชและน้ำมันผสมมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

Kurt et al. (2000) รายงานผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้ น้ำมันทานตะวัน ปรากฏว่ากำลัง ทอร์ค ความดันเฉลี่ย และเลขวันคาลดลง ส่วนความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

Raju et al. (2000), Prasad et al. (2000), Beg et al. (2000), Kumar et al. (2000), Boseel et al. (2000) รายงานการใช้ น้ำมันพืชและเอสเทอร์เป็นเชื้อเพลิง เพื่อทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ภาระต่างๆ ขณะความเร็วรอบคงที่ โดยเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ผลปรากฏว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของน้ำมันพืชและเอสเทอร์ของมามีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล และจะลดลงถ้าเพิ่มแรงดันหัวฉีด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเล็กน้อย ปริมาณ HC มีค่าน้อยกว่าดีเซล เลขวันคามีค่าใกล้เคียงกัน ส่วน CO เพิ่มขึ้น

Masjuki et al. (1998), Gafar et al. (1995), Masjuki et al. (1995) รายงานการใช้ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันพืชทั้งสองผสมกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืชที่ผ่านการทำให้ใส ด้วยน้ำ และแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิง เพื่อทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยวัดที่ภาระเต็มที่ ผลที่ได้คือ ค่าแรงบิด กำลังเบรค รวมถึงมลพิษ

เช่น CO CO₂ HC และควันดำ ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันพืช น้ำมันผสมและน้ำมันพืชที่ผ่านการทำให้ใสด้วยน้ำ และแอลกอฮอล์ จะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ส่วนความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพืชทั้งสามมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

2.2.6.3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะยาว

การทดสอบหาความคงทนและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันพืชและเอสเตอร์ของน้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ด้วยการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของคาร์บอน และสารเหนียวในชิ้นส่วนภายใน เช่น หัวฉีด กระบอกสูบ ลูกสูบ ฝาสูบ แหวนลูกสูบ วาล์วไอดีและไอเสีย แล้วนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงโดยใช้วิธีการวิธีถ่ายภาพมาวิเคราะห์ สำหรับระยะเวลาของการทดสอบจากรายงานการวิจัยต่างๆ จะใช้ระยะเวลาที่ต่างกัน เช่น Kaufman and Ziejewski (1984) ใช้ระยะเวลา 200 ชั่วโมง สำหรับมาตรฐาน ASTM จะใช้ระยะเวลา 250 ชั่วโมง เพื่อทดสอบวิเคราะห์น้ำมันเครื่อง ส่วนมหาวิทยาลัย University of Idaho ใช้ระยะเวลา 1000 ชั่วโมง ในขณะที่ Masjuki et al. (1995) ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง และ kurt et al. (2000) ใช้ระยะเวลา 50 ชั่วโมง สำหรับการทดสอบที่ใช้รถยนต์วิ่งบนถนนจะกำหนดระยะทางต่างกัน คือ Schumacher et al. (1995) ใช้ระยะทางประมาณ 48,280 กิโลเมตร Schumacher et al. (1998) ใช้ระยะทาง 40,608 ไมล์ และ Peterson et al. (1999) ใช้ระยะทางในการทดสอบประมาณ 163,800 กิโลเมตร เป็นต้น

ก) การวิเคราะห์น้ำมันเครื่อง (Oil Analysis)

การวิเคราะห์น้ำมันเครื่องเพื่อหาคุณสมบัติการหล่อลื่น หาค่าความหนืด หากการปนเปื้อนของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์และการเสกส่วนโลหะในน้ำมันเครื่อง

Kaufman and Ziejewski (1984) รายงานการสิ้นเปลืองน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง หลังจากใช้เมทิลเอสเตอร์ของน้ำมันทานตะวันเป็นเชื้อเพลิงเป็นระยะเวลา 250 ชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ย 12.15 g/h ซึ่งน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ที่มีค่าเฉลี่ย 16.04 g/h นอกจากนั้นยังหาการเปลี่ยนแปลงของความหนืดของน้ำมันเครื่องทุกๆ 15 ชั่วโมง ผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังจากการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องในช่วงแรกความหนืดจะลดลง และช่วงหลังน้ำมันเครื่องจะข้นขึ้นทำให้ความหนืดเพิ่มเกือบเท่าน้ำมันใหม่

University of Idaho รายงานค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ 1000 ชั่วโมงโดยใช้เมทริลเอสเตอร์จากน้ำมันเมล็ดเรพ เป็นเชื้อเพลิง ช่วงแรกความหนืดจะลดลงเล็กน้อยและเพิ่มขึ้นในช่วงสุดท้ายของการทดสอบ นอกจากนั้นยังหาความสึกหรอของเครื่องยนต์โดยวัดเศษส่วนของโลหะในน้ำมันเครื่องผลปรากฏว่าการใช้เอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิงมีค่าเศษส่วนของโลหะน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเนื่องจากความดันเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิงมีค่าน้อยกว่า

Schumacher et al. (1998) ใช้เมทริลเอสเตอร์จากถั่วเหลือง 2% ผสมกับดีเซล 98% หรือเรียกว่า B2 เป็นเชื้อเพลิงในรถกระบะ Dodge รุ่นปี ค.ศ.1996 ที่ใช้เครื่องยนต์ 6BTAA 5.9 ลิตร ระบบฉีดโดยตรงเทอร์โบชาร์จ ทดลองวิ่งมากกว่า 40,608 ไมล์ การตรวจสอบเศษส่วนของโลหะในน้ำมันเครื่องปรากฏว่าเป็นไปอย่างปกติเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

Serdari et al. (1998) รายงานการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ 6 เครื่องที่ใช้เอสเตอร์จากน้ำมันทานตะวันและน้ำมันข้าวโพดในสัดส่วน 10% ผสมกับน้ำมันดีเซล 90% ผลการตรวจสอบปรากฏว่าเศษส่วนของโลหะในน้ำมันเครื่องเป็นไปอย่างปกติ

ข) การสะสมของคาร์บอนบนหัวฉีด

การสะสมของคาร์บอนบนหัวฉีด จะทำให้เกิดผลกระทบต่อลำสเปร์ย์ของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ เช่น การแตกเป็นละอองฝอยไม่ดี ทิศทางของการฉีดเปลี่ยนไป ส่งผลให้การผสมของน้ำมันกับอากาศภายในห้องเผาไหม้เกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ผลที่ตามมาคือ มีคาร์บอนเกิดขึ้นมากและสะสมอยู่ตามชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยที่ใช้น้ำมันพืชดิบเป็นเชื้อเพลิงทำให้เกิดการสะสมของคาร์บอนบนหัวฉีดมากกว่าปกติซึ่งเป็นสาเหตุให้เครื่องยนต์กำลังลด

Kaufman and Ziejewski (1984) รายงานการสะสมของคาร์บอนบนหัวฉีดจากการทดสอบเครื่องยนต์ 200 ชั่วโมง โดยใช้เมทริลเอสเตอร์จากน้ำมันทานตะวันเป็นเชื้อเพลิง ปรากฏว่ามีคาร์บอนสะสมเล็กน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

University of Idaho รายงานการทดสอบ 1000 ชั่วโมงโดยใช้ เมทริลเอสเตอร์จากน้ำมันเมล็ดเรพ การสะสมคาร์บอนบนหัวฉีดช่วง 200 – 600 ชั่วโมง ของน้ำมันต่างๆ มีค่าเท่ากันและจะเพิ่มขึ้นมากช่วง 600 – 800 ชั่วโมง ทุกชนิด การเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลการสะสมของคาร์บอนบนหัวฉีดของน้ำมันทุกชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย ได้ติดตั้งที่อาคารเครื่องมือ 5 ศูนย์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เครื่องมือทดสอบเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ในเครื่องจักรการเกษตรของบริษัท AW Dynamometer, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา และเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งมีใช้ในรถบรรทุกขนาดกลางคือ เครื่องยนต์ดีเซลยี่ห้ออีซูซุ โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

3.1.1 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเครื่องยนต์ยี่ห้ออีซูซุที่ใช้ในรถบรรทุกขนาดกลาง ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงพร้อมชุดเกียร์ส่งกำลัง โดยมีข้อมูลรายละเอียดทางเทคนิคต่างๆดังนี้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ ⁽¹⁾

Model	4 JB-1	
Type	Diesel, 4 cylinder, in- line, OHV, Water - cooled	
Bore x stroke	93.0 x 102.0 mm	
Displacement	2771 cc	
Max. power	65.6 kW / 3500 rpm	
Max. torque	166.77 N-m / 2000 rpm	
compression ratio	18.2 : 1	
Gear box	1 st	3.54: 1
	2 nd	2.33: 1
	3 th	1.628: 1
	4 th	1.0: 1

หมายเหตุ ⁽¹⁾ จาก ดาต้ารายนต์ 2, อัมพล ชี้อตรง , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

3.1.2 ไดนาโมมิเตอร์

ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบหาแรงบิดของเครื่องยนต์ ที่ใช้งานวิจัยเป็นของบริษัท AW Dynamometer, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น Neb 2-300 โดยใช้หลักการนำพลังงานจากไฮดรอลิกส์มาเป็นตัวเบรกเครื่องยนต์ ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้ในการทดสอบระยะยาวเพราะเป็นไดนาโมมิเตอร์ขนาดใหญ่เพราะสามารถทนแรงเบรกในระยะเวลาได้นานได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของเครื่องไดนาโมมิเตอร์

Dynamometer	
Make	AW Dynamometer, Inc.
Model	Neb 2-300
Serial	230-108
Max. power	74.6 kW/540 rpm
	156.6 kW/1000 rpm
	223.7 kW/2000 rpm
Capacity torque dynamometer	1490 N-m
Capacity torque drive line (N-m.)	4475 N-m



รูปที่ 3.1 การติดตั้งเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบไดนาโมมิเตอร์

3.1.3 เครื่องมือวัดความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

การวัดความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ สามารถหาได้จากปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา เครื่องมือวัดความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีลักษณะเป็นกระบอกตวงที่ผลิตมาจากวัสดุประเภทแก้ว รุ่น Plint Size 2 ที่มีการแบ่งสเกลวัดออกเป็น 3 ช่วงการวัดคือ 100 200 และ 400 มิลลิลิตร โดยมีทางเข้าหลอดแก้ว 2 ทาง คือจากถังเก็บน้ำมันด้านบน และจากทางไหลกลับของปั๊มหัวฉีด มีทางออก 1 ทาง คือทางเข้าปั๊มหัวฉีด และมีรูระบายอากาศเพื่อไม่ให้ภายในหลอดแก้วเกิดสุญญากาศ

ส่วนเครื่องมือวัดความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงจะเป็นกระบอกตวงที่ผลิตมาจากวัสดุประเภท polymer รุ่น Poly lab ที่มีการแบ่งสเกลวัดออกเป็นช่วงๆ ช่วงละ 5 มิลลิลิตร ซึ่งมีปริมาตรสูงสุด 500 มิลลิลิตร ส่วนทางเข้ากระบอกตวงจะมี 2 ทาง และทางออกอีก 1 ทาง เช่นเดียวกันกับกระบอกตวงที่ใช้วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล

3.1.4 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ

เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศเป็นลักษณะของถังทรงกระบอก ปริมาณอากาศที่ไหลผ่านเข้าไปในถังจะมีความสัมพันธ์กับความดันแตกต่าง โดยใส่ orifice plate ไว้ในตำแหน่งทางเข้าของอากาศ และติดตั้งมาโนมิเตอร์สำหรับอ่านค่าความดันแตกต่างระหว่าง orifice plate โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของเครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ

Air Flow Meter	
Drum size	42 in long x 27 in diameter
Orifice size	64.95 mm
Coefficient of discharge	0.6

3.1.5 ถังอุน้ำมันปาล์มดิบ

เป็นลักษณะของถังทรงสี่เหลี่ยมที่ผลิตมาจากสแตนเลส โดยมีขนาดของความจุประมาณ 96 ลิตร แต่ละด้านจะติดตั้งฮีตเตอร์ ขนาด 1,500 วัตต์ รวม 4 ตัว เพื่อให้การกระจายตัว

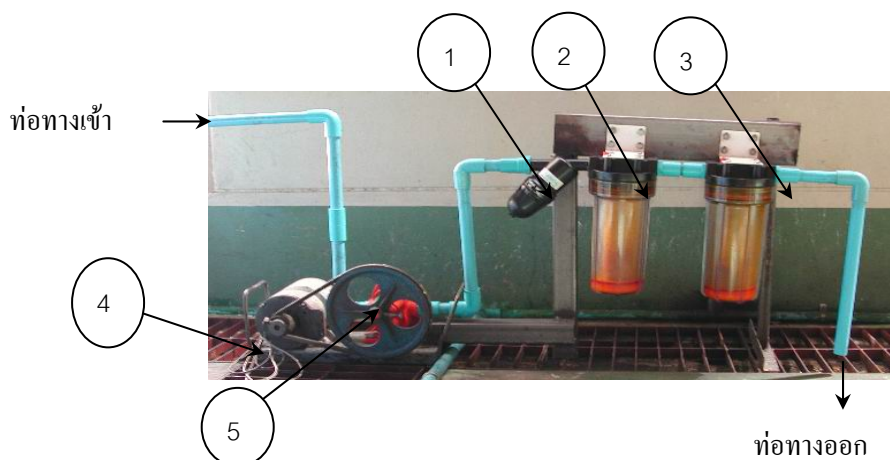
ของอุณหภูมิในน้ำมันปาล์มดิบทั่วถึง และได้ติดตั้งเซ็นเซอร์อุณหภูมิเพื่อสามารถปรับอุณหภูมิได้ โดยตั้งไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพหม้อต้มไฟฟ้าที่ใช้สำหรับต้มน้ำมันปาล์มดิบทั้งบริเวณพื้นผิวด้านนอกและบริเวณพื้นผิวด้านใน

3.1.6 เครื่องกรองที่ใช้สำหรับกรองน้ำมันปาล์มดิบ

เครื่องกรองที่ใช้สำหรับกรองน้ำมันปาล์มดิบเป็นเครื่องกรองอัดแรงดันสูง โดยใช้เกียร์ปั๊มเป็นตัวอัดน้ำมันปาล์มดิบ เข้าไปที่ไส้กรองตัวที่ 1 ซึ่งมีความละเอียด 100 ไมโครเมตร จากนั้นเข้าสู่ไส้กรองตัวที่ 2 ซึ่งมีความละเอียดมากขึ้นคือ 25 ไมโครเมตร หลังจากนั้นเข้าสู่ไส้กรองตัวที่ 3 ซึ่งละเอียดที่สุดคือ 5 ไมโครเมตร น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกรองจะสามารถขจัดอนุภาคต่างๆ ออกได้ไม่น้อยกว่า 80% ของอนุภาคทั้งหมด (Garrett, 1994) ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของเครื่องกรองอัดสำหรับกรองน้ำมันปาล์มดิบ

จากรูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของเครื่องกรองอัตโนมัติ

- 1) คือไส้กรองชนิดตาข่าย (mesh) ที่มีค่าความละเอียดประมาณ 100 ไมโครเมตร
- 2) คือไส้กรองใยสังเคราะห์ขนาด 10 นิ้ว ที่มีค่าความละเอียดประมาณ 25 ไมโครเมตร
- 3) คือไส้กรองใยสังเคราะห์ขนาด 10 นิ้ว ที่มีค่าความละเอียดประมาณ 5 ไมโครเมตร
- 4) คือมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดกำลังไฟ 1 กิโลวัตต์
- 5) เครื่องสูบลมชนิดเกียร์ ขนาด 9.8 GPM / 400 รอบต่อนาที

3.2 น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 น้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำมันดีเซลหมุนเร็วของบริษัท ปตท. ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐานน้ำมันดีเซล DF2 ของมาตรฐาน ASTM ซึ่งกำหนดค่าเลขซีเทนอยู่ในช่วง 40-60

3.2.2 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดสอบ เป็นน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดมาจากเนื้อและเมล็ดของผลปาล์ม ซึ่งมีแหล่งปลูกจากจังหวัดกระบี่ที่ผ่านกระบวนการกรองร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดสิ่งเจือปน และนำไปใส่เป็นเชื้อเพลิงอุ่นร้อนที่ 50 องศาเซลเซียสก่อนเข้าปั๊มหัวฉีด การควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากไขของน้ำมันปาล์มดิบเริ่มละลายที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ประกอบกับการทำงานโดยปกติของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันที่ไหลกลับจากหัวฉีดจะมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิควบคุมที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ไขน้ำมันปาล์มดิบจะละลายหมด และอุณหภูมิของน้ำมันปาล์มดิบจะไม่สูงเกินไปเพื่อทำความเสียหายให้กับซีลยางของปั๊มหัวฉีด

3.2.3 น้ำมันเครื่อง

น้ำมันเครื่องที่ใช้ในการทดสอบ เป็นน้ำมันเครื่องของบริษัท Caltex รุ่น Delo Gold ที่มีมาตรฐานระดับ API CF/SJ เกรด SAE 40

3.2.4 น้ำมันไฮดรอลิกส์

น้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้สำหรับเติมในเครื่องทดสอบไดนาโมมิเตอร์ในครั้งนี้ เป็นน้ำมันไฮดรอลิกส์ของบริษัท Trane ที่มีมาตรฐานระดับ ISO 32 (NO. 10)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานการศึกษาวิทยานิพนธ์มีดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนวางแผน

3.3.1.1 เริ่มจากแนวความคิดที่ต้องการศึกษาผลกระทบ จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจของประชาชนและเป็นนโยบายของรัฐบาล โดยเฉพาะในอำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีการเปิดขายน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งเป็นการผสมน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันก๊าด แต่ยังมีข้อสงสัยถึงผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลนั้น

3.3.1.2 กำหนดจุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์อย่างกว้าง

3.3.1.3 จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์ เช่น หัวข้อของเนื้อหา เขียนรายละเอียดขยายแต่ละหัวข้อเนื้อหาตามแบบฟอร์มของมหาวิทยาลัย นำเสนอต่อคณะกรรมการประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกลเพื่อขออนุมัติการทำวิทยานิพนธ์

3.3.2 ขั้นตอนการทำงาน

3.3.2.1 จัดหาเครื่องยนต์ที่มีสภาพพร้อมใช้งาน และทำการยกเครื่องใหม่เปลี่ยนอะไหล่บางชิ้นเพื่อเพิ่มสภาพของเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้ 100% ทำการถ่ายรูปชิ้นส่วนเฉพาะของเครื่องยนต์เก็บไว้ ก่อนที่จะทำการประกอบเครื่องยนต์กลับคืนสู่สภาพพร้อมที่จะใช้งาน

3.3.2.2 ออกแบบ และสร้างถังอุ่นน้ำมันปาล์มดิบขึ้นมาใหม่

3.3.2.3 ออกแบบ และสร้างเครื่องกรองอัด ที่ใช้สำหรับการกรองน้ำมันปาล์มดิบ

3.3.2.4 อุ่นร้อนน้ำมันปาล์มดิบด้วยถังอุ่น โดยมีฮีตเตอร์เป็นตัวให้ความร้อน จนกระทั่งน้ำมันปาล์มดิบมีค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 50 องศาเซลเซียส แล้วสูบลำเข้าสู่เครื่องกรองน้ำมันปาล์มดิบผ่านไส้กรองขนาดต่างๆ และเก็บในถังขนาด 200 ลิตร

3.3.2.5 ติดตั้งเครื่องยนต์ที่ผ่านการยกเครื่องบนแท่นทดสอบไดนาโมมิเตอร์ และต่อกำลังจากเครื่องยนต์กับไดนาโมมิเตอร์ โดยใช้เพลากลางและเกียร์ของรถยนต์เพื่อปรับความเร็วรอบที่มาจากเครื่องยนต์ซึ่งมีความเร็วรอบสูง ให้ลดลงโดยใช้เกียร์ เพื่อให้ความเร็วรอบสุดท้ายที่ออกมาจากเครื่องยนต์อยู่ในรอบการทำงานที่ไม่สูงเกินกว่าที่กำหนดมาจากผู้ผลิตไดนาโมมิเตอร์ จากนั้นต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับเครื่องยนต์ เช่น อุปกรณ์การวัดการไหลของอากาศ หลอดแก้ววัดความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง ท่อไอเสีย หม้อน้ำ ฯลฯ

3.3.2.6 ทำการ run in เครื่องยนต์หลังจากที่ทำการยกเครื่องมาใหม่เพื่อปรับสภาพของชิ้นส่วนให้เข้าที่ รวมถึงการชะล้างเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันเครื่องที่สูบเข้าไปหล่อลื่นตามชิ้นส่วนต่างๆ ชะล้างเอาเศษโลหะและน้ำมันดีเซลที่ใช้ล้างชิ้นส่วนตอนถอดประกอบ ลงในอ่างของเครื่องยนต์ หลังจากนั้นให้ถ่ายน้ำมันเครื่องออกและเติมน้ำมันเครื่องเข้าไปใหม่ก่อนทำการทดสอบ โดยมีเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขในการ run-in และการ pretest เครื่องยนต์ก่อนที่จะทำการทดสอบจริง

เงื่อนไข	การทดสอบเพื่อปรับสภาพ	การทดสอบเพื่อชะล้างเครื่องยนต์
เวลา (นาท)	60	120
ความเร็วรอบ (รอบ/นาท)	1,500	2,000
ภาระการ (แรงบิด)	20 % ของแรงบิดสูงสุด	40 % ของแรงบิดสูงสุด

3.3.2.7 ทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้ทั้งน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิง

3.3.2.8 ทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง ตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบอุ่นร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบละลายเหตุผลเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.2.2 ในการทดสอบ 270 ชั่วโมงนั้น จะทดสอบต่อเนื่องเป็นคาบเวลาละ 15 ชั่วโมง หลังจากนั้นพักเครื่องยนต์ และทดสอบอีกครั้งในวันต่อมาจนครบ 9 ครั้ง แล้วทำการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ ซึ่งถือว่าเป็นการทดสอบช่วงที่ 1 ส่วนการทดสอบอีก 9 ครั้ง หลังถือว่าเป็นการทดสอบช่วงที่ 2 เมื่อการทดสอบต่อเนื่องจนครบ 1 ครั้ง หรือ 15 ชั่วโมง ให้ทำการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเครื่องและเก็บตัวอย่างทุกครั้ง หลังจากครบ 18 ครั้ง หรือ 270 ชั่วโมง ทำการถอดชิ้นส่วนต่างๆ มาถ่ายรูป

3.3.2.9 นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันทั้งสองสำหรับการทดสอบในระยะสั้น ส่วนการทดสอบในระยะยาวทำการเปรียบเทียบชิ้นส่วนก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

3.4 วิธีการทดลอง

ในการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลในครั้งนี้ สามารถจำแนกขั้นตอนในการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันทั้งสอง และการทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบซึ่งแต่ละขั้นตอนมีวิธีการทดลองดังนี้

3.4.1 การทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

3.4.1.1 ทำการเดินเครื่องยนต์ในรอบเดินเบา โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและเลื่อนคันเกียร์ไปยังตำแหน่งเกียร์ 2 รอจนกระทั่งเครื่องยนต์ถึงอุณหภูมิการทำงานโดยสังเกตจากระบบหล่อเย็นของเครื่องทำงาน คือมีน้ำไหลเวียนในเครื่องยนต์

3.4.1.2 เมื่อเครื่องยนต์ถึงอุณหภูมิทำงานแล้ว ให้เร่งเครื่องยนต์โดยการหมุนตัวปรับเร่งที่ปั๊มหัวฉีด จากนั้นทำการเบรกเครื่องยนต์โดยปรับวาล์วที่ไคนาโมมิเตอร์ให้ได้รอบที่ต้องการวัด โดยเริ่มจากรอบการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 800 รอบต่อนาที การปรับคันเร่งและปรับเบรกต้องให้สัมพันธ์กันเพื่อให้ได้ภาระเต็มที่ที่รอบนั้นโดยสังเกตจากคว้นเริ่มดำ ในระหว่างทำการทดสอบให้อ่านและบันทึกค่ารอบการทำงานของเครื่องยนต์ กำลัง แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทุกๆ 5 วินาที จนกระทั่งครบ 3 ค่า ส่วนอัตราการไหลของอากาศให้ทำการอ่านและบันทึกค่าเพียงครั้งเดียว

3.4.1.3 ทำการวัดค่าที่จุดอื่นๆ โดยเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องยนต์ครั้งละ 200 รอบต่อนาที จนกระทั่งกำลังของเครื่องยนต์มีค่าสูงสุดที่รอบนั้น

3.4.1.4 หลังจากนั้นให้ทำการลดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ลง จากรอบการทำงานสูงสุดลงมาประมาณ 200 รอบต่อนาที รวมถึงการลดภาระการให้มีความสัมพันธ์กันด้วยเพื่อให้ได้ภาระเต็มที่ที่รอบนั้นโดยสังเกตจากคว้นเริ่มดำ ในระหว่างทำการทดสอบให้อ่านและบันทึกค่ารอบการทำงานของเครื่องยนต์ กำลัง แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ทุกๆ 5 วินาที จนกระทั่งครบ 3 ค่า ส่วนอัตราการไหลของอากาศให้ทำการอ่านและบันทึกค่าเพียงครั้งเดียว

3.4.1.5 ทำการวัดค่าที่จุดอื่นๆ โดยลดรอบของเครื่องยนต์ครั้งละ 200 รอบต่อนาที จนกระทั่งถึงรอบการทำงานเริ่มต้นในการทดสอบ คือที่ประมาณ 800 รอบต่อนาที

3.4.1.6 หลังจากการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์แล้ว ก่อนที่จะดับเครื่องยนต์ให้เดินเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบาโดยไม่เบรกสักระยะหนึ่งเพื่อให้เครื่องยนต์ปรับสภาพเป็นปกติจึงดับเครื่องยนต์

3.4.1.7 หลังจากพักเครื่องให้ทดลองซ้ำข้อ 3.4.1.1-3.4.1.6 แต่เปลี่ยนเชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันปาล์มดิบที่กรองแล้ว

3.4.2 การทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบต่อเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

3.4.2.1 ก่อนการทดสอบระยะยาวให้เปลี่ยนน้ำมันเครื่อง และเปลี่ยนกรองน้ำมันเครื่องใหม่ เติมน้ำมันเครื่องใหม่ 3.8 ลิตร ตามคู่มือบริษัท จากนั้นเดินเครื่องที่รอบเดินเบาสักระยะหนึ่งเพื่อให้ น้ำมันเครื่องที่เติมใหม่ไหลเข้าสู่ระบบเช่น กรองน้ำมันเครื่อง หล่อลื่นชิ้นส่วนต่างๆ จากนั้นดับเครื่องยนต์เพื่อพักเครื่องรอจนกระทั่งเครื่องเย็น

3.4.2.2 เริ่มทดสอบครั้งแรกให้ถ่าน้ำมันเครื่องออกมา และวัดปริมาณของน้ำมันเครื่องที่อยู่ในอ่างของเครื่องยนต์ตอนเริ่มต้นบันทึกค่าไว้

3.4.2.3 เดินเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบา โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบที่กรองแล้ว และอุ่นร้อน 50 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อเพลิง จนกระทั่งเครื่องยนต์ถึงอุณหภูมิทำงาน สังเกตได้จากระบบหล่อเย็นทำงาน

3.4.2.4 เริ่มทำการทดสอบเพื่อหาความคงทนของเครื่องยนต์ โดยทำการปรับภาระการให้มีความสัมพันธ์กับรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยจะทำการทดสอบที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์คงที่ประมาณ 2,000 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นรอบที่ให้ค่าแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ (จากบริษัทผู้ผลิต) ทำการเดินเครื่องยนต์ไปเรื่อยๆ จนครบ 15 ชั่วโมง ในระหว่างทำการทดสอบให้อ่านและบันทึก ค่ากำลัง แรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม รวมถึงการสังเกตว่าเครื่องยนต์มีการทำงานที่ผิดปกติหรือไม่ หลังจากทำการทดสอบเพื่อหาความคงทนของเครื่องยนต์ครบ 15 ชั่วโมง ให้ทำการเดินเครื่องยนต์ทิ้งไว้ที่สภาวะไร้ภาระการ ที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์ประมาณ 800 รอบต่อนาที เป็นเวลาประมาณ 10 นาที ก่อนแล้วค่อยทำการดับเครื่องยนต์ เพื่อปรับสภาพของเครื่องยนต์

3.4.2.5 หลังจากพักเครื่องยนต์ ทำการทดสอบอีก 15 ชั่วโมงต่อไป โดยก่อนการทดสอบให้ถ่าน้ำมันเครื่องมาวัดปริมาณ และเก็บตัวอย่าง 30 มิลลิลิตร เสร็จแล้วให้เติมน้ำมันเครื่องเข้าไปเท่ากับปริมาณในตอนแรกเสมอ ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.4.2.3-3.4.2.4

3.4.2.6 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.4.2.5 จนกระทั่งครบ 9 ครั้งหรือ 135 ชั่วโมง ให้เปลี่ยนน้ำมันเครื่องและกรองน้ำมันเครื่องใหม่ ทำซ้ำตามข้อ 3.4.2.1

3.4.2.7 ทำการทดลองซ้ำ 3.4.2.2–3.4.2.5 จนกระทั่งครบ 18 ครั้ง หรือ 270 ชั่วโมง

3.4.2.8 หลังจากทำการทดสอบครบ 270 ชั่วโมง ทำการถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์มาถ่ายรูปเพื่อวิเคราะห์ผล

3.5 การวิเคราะห์ผล

เนื่องจากการทดสอบมีทั้งระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะและระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบเพราะฉะนั้นผลที่ได้จะแบ่งการวิเคราะห์ดังนี้

3.5.1 การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะ

นำค่าต่างๆ เช่น กำลัง แรงบิด ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์ มาเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบ

3.5.2 การทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

3.5.2.1 นำค่ากำลังและแรงบิดของแต่ละวันมาเปรียบเทียบระหว่างช่วงที่ 1 กับช่วงที่ 2

3.5.2.2 นำรูปถ่ายของชิ้นส่วนภายในหลังการทดสอบ มาวิเคราะห์การสะสมของคาร์บอนและการสึกหรอโดยเปรียบเทียบกับรูปถ่ายก่อนการทดสอบ

3.5.2.3 เก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องในแต่ละวันไปวิเคราะห์หาค่าความหนืด

3.5.2.4 วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันเครื่องที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การทดลองและการวิเคราะห์ผล แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง และการทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบต่อน้ำมันจากการใช้ น้ำมันปาล์มดิบ แบ่งผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล ดังนี้

4.1 การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

การทดลองครั้งนี้ เป็นการหาข้อมูลเพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรง ขนาดความจุกระบอกสูบ 2771 cc ทดลองวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่รอบต่างๆ ณ ขณะภาระเต็มที่ โดยสังเกตจากวันเริ่มค่า เริ่มต้นวัดที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที จนกระทั่งถึงรอบการทำงานที่ให้กำลังสูงสุดคือ 3600 รอบต่อนาที หลังจากนั้นทำการลดความเร็วรอบลงจนกระทั่งถึงความเร็วรอบเริ่มต้นการทดสอบอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นการทดสอบทั้งในช่วงเพิ่มความเร็วรอบ และช่วงลดความเร็วรอบเพื่อหาค่า hysteresis errors หรือ bias error คือค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องมือวัด และเครื่องยนต์ดีเซล เช่น ค่าความหนืดที่เปลี่ยนไป การไค้งตัวของชิ้นส่วนจักรกลภายใน ความร้อนที่เกิดขึ้นในแก๊วความเครียด และประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ (Anthony and Ahmad, 1996) โดยเปรียบเทียบค่าต่างๆ ที่วัดได้เช่น ความเร็วรอบ แรงบิด กำลัง ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และอัตราการไหลของอากาศ ระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบในเครื่องยนต์ดีเซล

4.1.1 แรงบิดของเครื่องยนต์

รูปที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องยนต์ระหว่างการใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง ที่ช่วงความเร็วรอบ 800–2200 รอบต่อนาที ทั้งในช่วงเพิ่มรอบ และลดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะที่ช่วงความเร็วรอบต่ำๆ ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าสูงความเร็วรอบ และ 28.61 N-m ในช่วงการลดความเร็วรอบในขณะที่ความเร็ว

รอบ 800 รอบต่อนาที และค่าแรงบิดจะมีค่าเท่ากันที่ความเร็วรอบประมาณ 2,200 รอบต่อนาที หลังจากนั้น

ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ จะมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยเฉลี่ยแล้วมีค่าประมาณ 2.4% เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล สาเหตุที่ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบต่ำๆ น่าจะมาจากลักษณะของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ในขณะความเร็วรอบต่ำมีการไหลแบบปั่นป่วนน้อย ผนวกกับค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก จึงทำให้การฉีดน้ำมันปาล์มดิบแตกเป็นละอองฝอยได้น้อย ส่งผลให้การผสมของน้ำมันปาล์มดิบกับอากาศได้ไม่ดีจึงทำให้แรงบิดมีค่าต่ำในขณะความเร็วรอบต่ำๆ ส่วนในกรณีของน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าความหนืดต่ำอยู่แล้ว การฉีดของน้ำมันดีเซลจึงแตกเป็นละอองฝอยดีทำให้การผสมของน้ำมันดีเซลกับอากาศได้ดี แม้ว่าอากาศจะมีการไหลแบบปั่นป่วนน้อยก็ตาม ส่งผลให้ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบต่ำมีค่าสูง ซึ่งสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง

ในทางตรงกันข้ามที่ความเร็วรอบการทำงานสูง จะทำให้อากาศที่เข้ามามีการไหลแบบปั่นป่วนสูงทำให้การผสมของน้ำมันปาล์มดิบกับอากาศได้ดี ส่งผลให้แรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบในขณะความเร็วรอบสูงมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย ซึ่งก็ถือได้ว่าเป็นค่าความแตกต่างที่น้อยมาก ถ้าพิจารณาในแง่ที่ว่า เป็นการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้เครื่องไดนาโมมิเตอร์ที่มีระบบการทำงานแบบปรับเองด้วยมือทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นการปรับภาระรวมถึงการปรับความเร็วรอบการทำงานของเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงถือว่าเป็นเรื่องปกติที่ต้องมีค่าความผิดพลาดเนื่องมาจากความแม่นยำในการวัดที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบทั้งในกรณีของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง แต่อย่างไรก็ตามค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ในช่วงความเร็วรอบ 2,200–3,600 รอบต่อนาที มีลักษณะแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันมาก ซึ่งนั่นก็หมายความว่าเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรงที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงให้ค่าแรงบิดที่ค่อนข้างสูงในขณะความเร็วรอบการทำงานดังกล่าว จากการสังเกตการทำงานของเครื่องยนต์ในขณะทดสอบ พบว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานเป็นไปอย่างราบเรียบ ไม่พบว่ามีอาการสะดุดของเครื่องยนต์เกิดขึ้น

4.1.2 กำลังของเครื่องยนต์

รูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแรงบิดทุกประการเนื่องจากเป็นค่าที่คำนวณมาจากค่าของแรงบิดตามสมการที่ 2.9 จากผลการทดสอบที่ความเร็วรอบช่วง 800-2,200 รอบต่อนาที ค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง และที่ความเร็วรอบปานกลางถึงความเร็วรอบสูงค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันปาล์มดิบ เหตุผลดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา

4.1.3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค

รูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์ดีเซลระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง โดยเฉลี่ยประมาณ 13.93% ในช่วงของการเพิ่มความเร็วรอบ และ 12.24% ในช่วงของการลดความเร็วรอบ ซึ่งถือว่าเป็นค่าความแตกต่างที่น้อยมาก เพราะถ้าพิจารณาจากการปรับภาระซึ่งสังเกตจากวันเริ่มค่า จากรายงานการวิจัยต่างๆ ค่าเลขวันค่าของน้ำมันพืชจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลทั้งนั้น ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้การปรับภาระที่เหมาะสมกับความเร็วรอบการทำงานของเครื่องยนต์จนกระทั่งเริ่มสังเกตวันเริ่มเป็นค่าที่ความเร็วรอบการทำงานเท่ากันระหว่างการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดภาระที่ให้กับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ จะต้องมีความสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ผนวกกับค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย จึงทำให้ค่าความสิ้นเปลืองจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล แต่อย่างไรก็ตามก็ถือว่าเป็นที่ค่าแตกต่างกันเล็กน้อย

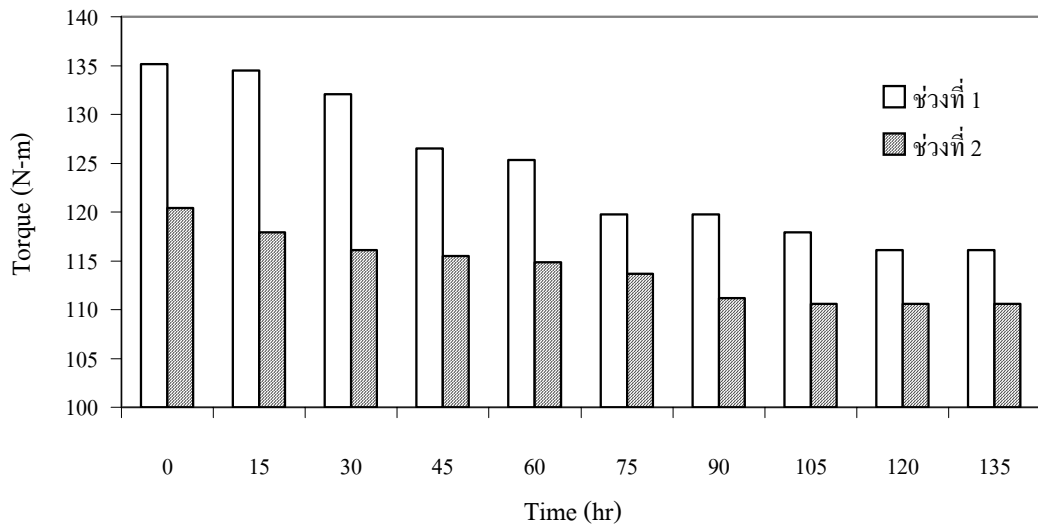
จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้จากการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรงทั้งหมด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นไม่ว่าจะเป็น ค่ากำลัง ค่าแรงบิด และค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค พอที่จะสรุปโดยภาพรวมได้ว่า การใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรงในระยะเวลาสั้นๆ นั้น พบว่าเครื่องยนต์มีสมรรถนะการทำงานได้ดีในช่วงความเร็วรอบปานกลางถึงความเร็วรอบสูง และไม่พบว่ามีอาการสะดุดของเครื่องยนต์เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์ รวมถึงไม่พบว่ามีอาการน็อกของเครื่องยนต์เกิดขึ้นในระหว่างทำการทดสอบ

4.2 การทดสอบในระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

การทดสอบในระยะยาวครั้งนี้ เพื่อหาผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีการอุ่นร้อนน้ำมันปาล์มดิบที่ 50 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าปั๊มหัวฉีด โดยทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ที่ 2,000 รอบต่อนาที และใช้ระยะเวลาในการทดสอบทั้งหมด 270 ชั่วโมง แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ช่วง ตามระยะการเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง ช่วงแรกเป็นการทดสอบ 9 ครั้ง ครั้งละ 15 ชั่วโมง เป็นเวลา 135 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ และทำการทดสอบต่อไปอีก 9 ครั้ง เป็นเวลา 135 ชั่วโมง รวมทั้งหมดแล้ว 270 ชั่วโมง ซึ่งการทดสอบในแต่ละครั้งจะทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ เช่น กำลังแรงบิด อัตราการไหลของอากาศ ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และอุณหภูมิของอากาศรอบๆ หลังจากสิ้นสุดการทดสอบในแต่ละครั้งจะทำการวัดอัตราความสิ้นเปลืองของน้ำมันเครื่อง และเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆ เช่น ความหนืด การปนเปื้อนของน้ำมันเครื่อง เมื่อทำการทดสอบครบ 270 ชั่วโมง ได้ถอดชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์มาถ่ายรูป เพื่อวิเคราะห์การสะสมของคาร์บอน สารเหนียว ตามชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

4.2.1 แรงบิดของเครื่องยนต์ในแต่ละครั้ง

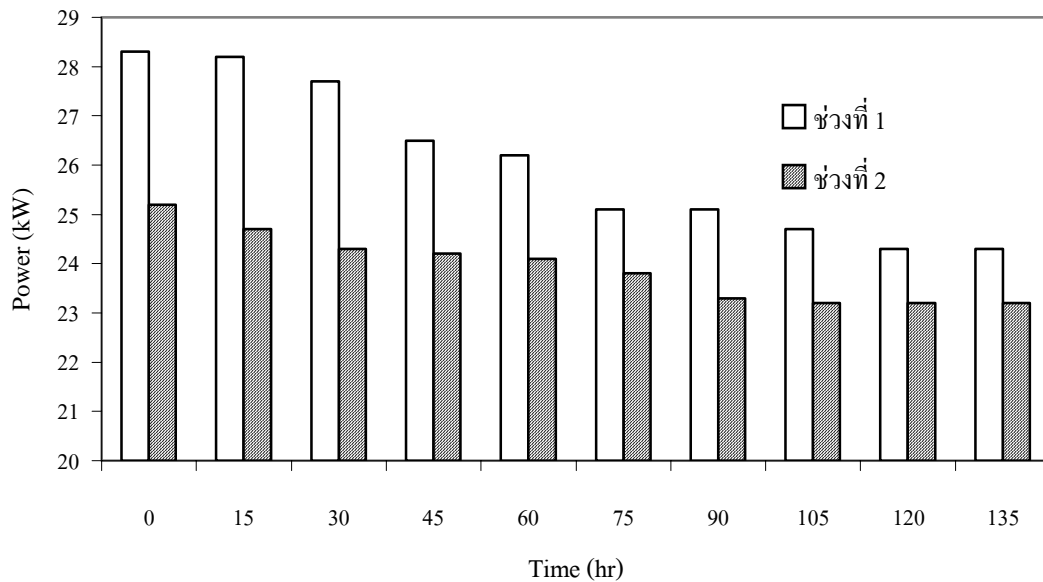
รูปที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบค่าแรงบิดในช่วง 1 กับช่วงที่ 2 จะเห็นว่าค่าแรงบิดของทั้งสองช่วง มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการทดสอบ ซึ่งมีค่าลดลงประมาณ 14% ในช่วงการทดสอบที่ 1 และ 8% ในช่วงการทดสอบที่ 2 เมื่อเทียบกับครั้งแรกของการทดสอบในแต่ละช่วงสาเหตุอาจจะเนื่องมาจากค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบที่มีค่าสูง จึงทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ เพราะฉะนั้นจึงมีคาร์บอนและเขม่าที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้น และจะสะสมตามชิ้นส่วนต่างๆ คือ หัวฉีด ลูกสูบ กระบอกสูบ แหวนลูกสูบ วาล์วไอดีและไอดีเสีย ซึ่งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการใช้งานด้วยเหตุนี้เองทำให้การทำงานในระบบต่างๆ ของเครื่องยนต์ไม่ว่าจะเป็น การฉีดเชื้อเพลิง การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง กำลังอัดของเครื่องยนต์ มีประสิทธิภาพน้อยลง จากการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่เพื่อทดสอบช่วงที่ 2 พบว่าค่าแรงบิดในครั้งแรกของการทดสอบในช่วงที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 3.33% จากครั้งสุดท้ายของการทดสอบช่วงที่ 1 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่น้อยมาก ดังนั้นผลของการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องมีผลกระทบน้อยมากต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งถือว่าเป็นปกติ



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงระหว่างการทดสอบช่วง 1 และช่วงที่ 2 เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง

4.2.2 กำลังของเครื่องยนต์ในแต่ละครั้ง

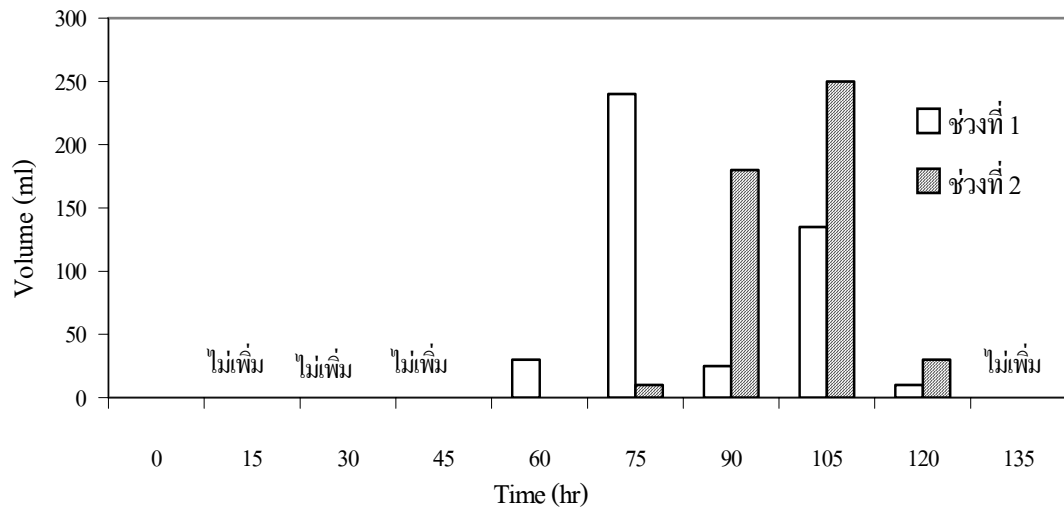
จากรูป 4.5 เป็นการเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรง ระหว่างการทดสอบช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 ซึ่งค่ากำลังสามารถหาได้จากการแทนค่าแรงบิดลงในสมการที่ 2.9 เพราะฉะนั้นค่าที่ได้จะเป็นลักษณะเดียวกับแรงบิดของเครื่องยนต์ทุกประการจากการสังเกตค่ากำลังในแต่ละครั้งของการทดสอบช่วงที่ 1 จะสูงกว่าช่วงที่ 2 และค่ากำลังของแต่ละช่วงจะลดลงทุกครั้งของการทดสอบ เหตุผลทำนองเดียวกันกับค่าของแรงบิดซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงระหว่างการทดสอบช่วง 1 และช่วงที่ 2 เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงน้ำมันเครื่อง

รูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงน้ำมันเครื่องในระหว่างการทดสอบช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2 จากการสังเกตจะเห็นว่าปริมาณของน้ำมันเครื่องมีค่าคงที่ใน 5 ครั้งแรกทั้งช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 หลังจากนั้นปริมาณของน้ำมันเครื่องจะเพิ่มขึ้นทุกครั้งของการทดสอบ โดยเพิ่มขึ้นจากครั้งแรกของการทดสอบในแต่ละช่วง ปริมาณน้ำมันเครื่องที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดประมาณ 15.67 % และ 10.67% ในช่วงของการทดสอบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ปริมาณน้ำมันเครื่องที่เพิ่มขึ้นน่าจะเป็นน้ำมันเครื่องที่หล่อลื่นอยู่ในระบบไหลลงสู่อ่างเครื่องยนต์



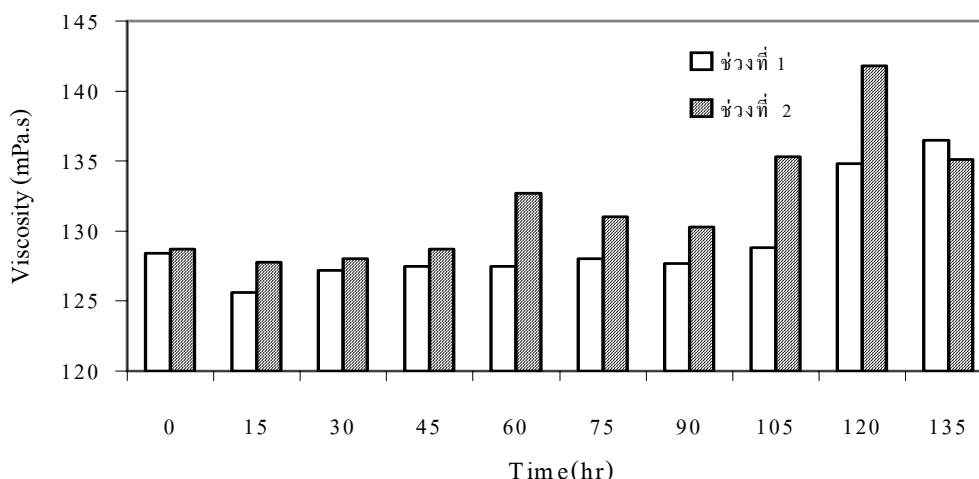
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงในการทดสอบช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง

4.2.4 ค่าความหนืดของน้ำมันเครื่อง

รูปที่ 4.7 เป็นค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องในแต่ละครั้ง โดยเปรียบเทียบระหว่างช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 จากการสังเกตค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องระยะแรกของช่วงที่ 1 จะมีค่าคงที่ประมาณ 127.5 mPa-s หลังจากนั้นค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการทดสอบซึ่งค่าสูงสุดอยู่ที่ 136.5 mPa-s ในชั่วโมงที่ 135 หรือครั้งที่ 9 ของช่วงที่ 1 ส่วนการทดสอบช่วงที่ 2 จะมีแนวโน้มคล้ายกับช่วงที่ 1 สาเหตุที่ความหนืดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการทดสอบ อาจเนื่องมาจากปริมาณของสิ่งเจือปน เช่น คาร์บอนและเขม่าที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง รวมถึงเศษวัสดุสึกหรอจากชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ ซึ่งล้วนแต่เป็นสาเหตุทำให้ความหนืดของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้นทั้งนั้น โดยเฉพาะครั้งสุดท้ายของช่วงการทดสอบ ซึ่งถือว่าปกติอยู่แล้วที่ค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเครื่องยนต์ผ่านการใช้งานเป็นเวลานานๆ

อย่างไรก็ตามค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องที่เพิ่มขึ้น จะไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ เช่น แรงบิด และ กำลัง ซึ่งสังเกตได้จากค่าของแรงบิด และกำลัง เมื่อทำ

การเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ในระหว่างการทดสอบช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 ค่าแรงบิด และกำลัง จะเพิ่มขึ้นมาประมาณ 3.3% เท่านั้นซึ่งถือว่าน้อยมาก



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความหนืดน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงระหว่างการทดสอบช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2 เป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง

4.2.5 การอุดตันของกรองเชื้อเพลิง

จากการสังเกตการอุดตันของกรองเชื้อเพลิงในระหว่างการทดสอบผลปรากฏว่ากรองเชื้อเพลิงจะเริ่มอุดตันหลังจากการทดสอบผ่านไป 45 ชั่วโมง เมื่อกรองเชื้อเพลิงอุดตันจะสังเกตได้จากเสียงและความเร็วรอบการทำงานของเครื่องยนต์จะลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเครื่องยนต์ดับ เพื่อกำจัดผลกระทบจากกรองเชื้อเพลิงอุดตันจึงทำการเปลี่ยนกรองเชื้อเพลิงทุกๆ 45 ชั่วโมง สาเหตุที่ทำให้กรองเชื้อเพลิงอุดตัน สันนิษฐานว่า เนื่องมาจากสารชั้นเหนียวที่อยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ ที่ไม่ได้สกัดออกจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งจะจับบนผิวของไส้กรองและสะสมไปเรื่อยๆ จนทำให้ช่องว่างของไส้กรองอุดตัน การอุดตันของไส้กรองเป็นไปอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลตามปกติซึ่งบริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ที่ 200,000 กิโลเมตร ดังนั้นการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้โดยตรงอาจจะมีผลกระทบทำให้กรองเชื้อเพลิงอุดตันอย่างรวดเร็ว จึงควรให้มีการวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติมในประเด็นนี้

4.3 ผลกระทบต่อชิ้นส่วนเครื่องยนต์ดีเซล

การทดสอบเพื่อหาผลกระทบต่อน้ำมันของเครื่องยนต์ดีเซล โดยวิธีการถ่ายรูปชิ้นส่วนก่อนทำการทดสอบและถ่ายรูปชิ้นส่วนหลังจากทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง หรือทดสอบ 18 ครั้ง ได้ผลดังนี้

รูปที่ 4.8 เป็นกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่เปรียบเทียบระหว่างกระบอกสูบก่อนการทดสอบซึ่งยังไม่ผ่านการใช้งานจึงไม่มีคราบของเขม่า และกระบอกสูบหลังการทดสอบ จากรูปจะเห็นว่าการสะสมของคาร์บอนบริเวณรอบๆ โดยเฉพาะส่วนบนของกระบอกสูบค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลาเท่ากัน สาเหตุน่าจะมาจากเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันปาล์มดิบ ถ้าใช้งานเป็นเวลานานๆ การสะสมของคาร์บอนอาจมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นสาเหตุที่ทำให้แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ลดลงตามระยะเวลาการทดสอบ



ก่อนการทดสอบ



หลังการทดสอบ

รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวด้านข้างกระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรง ทั้งก่อนและหลังจากการทดสอบเป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง

รูปที่ 4.9 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างฝาสูบก่อนการทดสอบและฝาสูบหลังการทดสอบ จากรูปจะเห็นว่าการสะสมของคาร์บอนค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน

ดีเซลซึ่งผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยเฉพาะบริเวณขอบเส้นวงกลมซึ่งเป็นบริเวณของห้องเผาไหม้ การสะสมของคาร์บอนมากกว่าบริเวณอื่น เพราะฉะนั้นถ้าใช้งานในระยะยาวจะทำให้เกิดการสะสมของคาร์บอนมากขึ้น อาจส่งผลต่อการปิดเปิดของวาล์วไอดีและไอดีเสียไม่สนิท เพราะคาร์บอนจะเกาะตามบ่าวาล์ว ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุ ที่ทำให้แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ลดลงตามระยะเวลาการทดสอบ



ก่อนการทดสอบ



หลังการทดสอบ

รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวฝาสูบของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง ทั้งก่อนและหลังการทดสอบเป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง

รูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบลูกสูบทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยเปรียบเทียบระหว่าง ลูกสูบก่อนการทดสอบและลูกสูบหลังการทดสอบ จากรูปผิวด้านบนของลูกสูบจะมีการก่อตัวของคาร์บอนอย่างไม่สม่ำเสมอ การก่อตัวของคาร์บอนที่ผิวด้านบนลูกสูบบางจุดจะไม่มีเลย แต่บางจุดก็มีพอสมควร เมื่อมองโดยภาพรวมแล้วมีการก่อตัวของคาร์บอนบนผิวลูกสูบถือว่าเป็นปกติ ใ้สำหรับการใช้งานเป็นระยะเวลานานๆ แต่สำหรับด้านล่างของลูกสูบจะมีการก่อตัวของคาร์บอน

รอบๆ ผิวส่วนบนของลูกสูบอย่างสม่ำเสมอซึ่งเกิดขึ้นค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลซึ่งผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลาเท่ากัน โดยเฉพาะบริเวณร่องแหวนถ้ามีการก่อตัวของคาร์บอนเกิดขึ้นมาก ซึ่งอาจทำให้ช่องว่างระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบน้อยลง และช่องของร่องแหวนลูกสูบกับแหวนน้อยลง ส่งผลให้เกิดการสึกหรอของกระบอกสูบและลูกสูบรวมทั้งแหวนเร็วขึ้น อาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ แรงบิด และกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลลดลงตามระยะเวลาการทดสอบ



ก่อนการทดสอบ

หลังการทดสอบ

รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวด้านบนและด้านข้างลูกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรงทั้งก่อนและหลังจากทดสอบเป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นการก่อตัวของคาร์บอนบนหัวฉีดค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลาเท่ากัน การก่อตัวของคาร์บอนบนหัวฉีดเหล่านี้ จะไปขวางลำสเปรย์ของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ ทำให้ทิศทางการฉีดหักเหไป รวมถึงการแตกเป็นละอองฝอยของลำสเปรย์ลดลง ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ จึงทำให้มีเขม่าและคาร์บอนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ ก่อตัวตามชิ้นส่วนต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การสะสมของคาร์บอนบนหัวฉีดจะเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการใช้งาน การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้มีเขม่าและคาร์บอนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้มากขึ้น อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าแรงบิด และกำลังของเครื่องยนต์ลดลงตามระยะเวลาการทดสอบ ถ้ามีการใช้งานเป็นระยะเวลานานๆ ปริมาณการสะสมของคาร์บอนบนหัวฉีดอาจเพิ่มมากขึ้น จนส่งผลทำให้หัวฉีดอุดตันได้เนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานานๆ

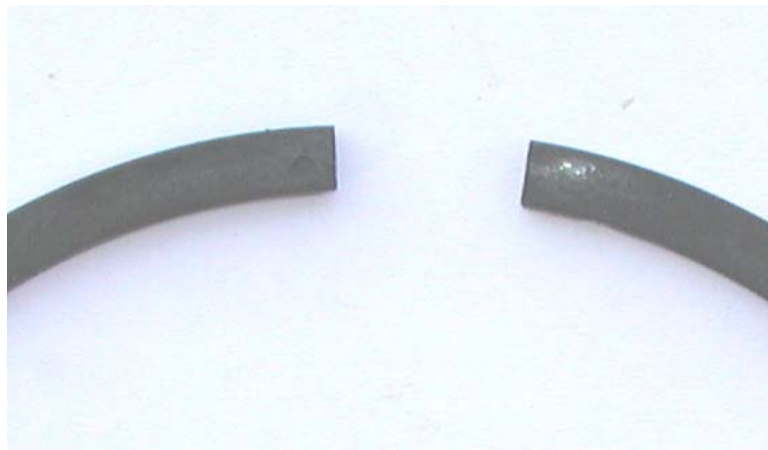


ก่อนการทดสอบ

หลังการทดสอบ

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณหัวฉีดด้านบนและด้านข้างของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรงทั้งก่อนและหลังจากทดสอบเป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง

จากรูป 4.12 จะเห็นว่าปริมาณการก่อตัวของคาร์บอนที่ปากแหวนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยเฉพาะที่แหวนอัดตัวที่ 1 สังเกตได้จากรูปจะเป็นลักษณะสีดำ ส่วนแหวนอัดตัวที่ 2 จะมีปริมาณการก่อตัวของคาร์บอนเล็กน้อยซึ่งเป็นไปอย่างปกติ ถ้ามีการก่อตัวของคาร์บอนมากอาจจะทำให้ระยะของร่องแหวนลูกสูบกับแหวนน้อย อาจจะทำให้แหวนติดได้



แหวนอัดตัวที่ 1 หลังการทดสอบ



แหวนอัดตัวที่ 2 หลังการทดสอบ

รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงบริเวณแหวนอัดตัวที่ 1 และแหวนอัดตัวที่ 2 ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดโดยตรงเป็นระยะเวลา 270 ชั่วโมง

สรุปโดยภาพรวมสำหรับการนำน้ำมันปาล์มมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงใน ระยะยาว รูปที่ 4.4-4.5 เป็นผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ซึ่งลดลงตามระยะเวลาการ ทดสอบ รูปที่ 4.6-4.7 เป็นผลกระทบต่อน้ำมันเครื่องซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องเปลี่ยนแปลง เล็กน้อย รูปที่ 4.8-4.12 เป็นผลกระทบต่อชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนสะสม ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลาเท่ากัน อาจเนื่องมาจากน้ำมันปาล์มดิบมีความหนืดสูง จึงทำให้ลำสเปรย์ของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้อง เผาไหม้แตกเป็นละอองฝอยไม่ดี จึงเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ ส่งผลให้มีปริมาณ คาร์บอนและเขม่าหลงเหลือจากการเผาไหม้ ซึ่งจะไปสะสมตามชิ้นส่วนต่างๆ การเปลี่ยนน้ำมัน ใหม่มะไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่อง แสดงว่าผลของการเปลี่ยนแปลงความหนืดรวมถึง คุณสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันเครื่องมีน้อยมาก เพราะฉะนั้นการนำเอาน้ำมันปาล์มมาใช้ในเครื่องยนต์ ดีเซลแบบฉีดโดยตรงนั้นอาจจะนำมาใช้ได้ ที่ช่วงความเร็วรอบและภาระค่อนข้างสูงดังที่กล่าว มาแล้วในหัวข้อที่ 4.1 แต่จากการทดสอบในระยะยาวปรากฏว่ามีคาร์บอนสะสมตามชิ้นส่วนต่างๆ มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลาเท่ากัน อาจจะทำให้เครื่องยนต์ มีอายุการใช้งานสั้นกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการศึกษาศรรณะในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง โดยเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระหว่างการใช้ น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง รวมถึงการทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบต่อเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเวลา 270 ชั่วโมง สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การทดลองระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

5.1.1.1 ลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น การติดเครื่องยนต์ การเดินเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ รวมถึงความเร็วรอบเดินเบาและสูงสุด เป็นไปอย่างปกติเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล การติดเครื่องยนต์ง่ายทั้งในขณะเครื่องร้อนและเย็น

5.1.1.2 กำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม จะต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในช่วงความเร็วรอบ 800 – 2,200 รอบต่อนาที หลังจากความเร็วรอบที่ 2,200 รอบต่อนาที จนถึงความเร็วรอบสูงสุด ค่ากำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม จะมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย

5.1.1.3 ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเล็กน้อย น่าจะมาจากสาเหตุที่การปรับภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบเท่ากัน ผนวกกับค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย จึงทำให้อัตราการไหลโดยมวลสูงกว่าในปริมาณเล็กน้อยขณะที่อัตราการไหลโดยปริมาตรเท่ากัน

5.1.2 การทดลองระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

5.1.2.1 กำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ ในแต่ละครั้งของการทดสอบมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากการสะสมของคาร์บอนตามชิ้นส่วนต่างๆ

5.1.2.2 จากการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ จะเห็นว่าไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ แสดงให้เห็นว่า ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้น รวมถึงคุณสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันเครื่องเปลี่ยนไปถือว่าเป็นปกติในกรณีที่ผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลานาน

5.1.2.3 การอุดตันของไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงเร็วผิดปกติ อาจเนื่องมาจากสารขี้เหนียวที่อยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ ที่ไม่ได้สกัดออกจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งจะจับบนผิวของไส้กรองและสะสมไปเรื่อยๆ จนทำให้ช่องว่างของไส้กรองอุดตัน

5.1.2.4 การสะสมของคาร์บอนบนหัวฉีด เกิดขึ้นค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซล อาจเนื่องมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันปาล์มดิบทำให้เกิดเขม่าและคาร์บอนสะสมตามชิ้นส่วนต่างๆ ได้ ถ้ามีการสะสมของคาร์บอนบนปลายหัวฉีดมากเกินไปอาจทำให้หัวฉีดอุดตัน

5.1.2.5 การสะสมของคาร์บอนตามชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลาเท่ากัน อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลงตามระยะเวลาการทดสอบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบระยะสั้นจะเห็นว่าน้ำมันปาล์มดิบมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเครื่องยนต์ที่ทำงานในขณะความเร็วรอบปานกลางจนถึงความเร็วรอบสูง เพราะมีสมรรถนะสูงในช่วงความเร็วรอบนี้ ดังนั้นการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงได้นั้นเครื่องยนต์ควรทำงานด้วยความเร็วรอบและภาระกรรมคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งสูงพอสมควรเช่นเครื่องยนต์เรือ หรือเครื่องยนต์การเกษตร เป็นต้น

จากการทดสอบระยะยาวจะเห็นการสะสมของคาร์บอนบนชิ้นส่วนต่างๆ เกิดขึ้นค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลโดยเฉพาะหัวฉีด ฝาสูบ กระบอกสูบ ลูกสูบและแหวนลูกสูบ ซึ่งอาจจะเป็นเหตุให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง ดังนั้นการใช้น้ำมันปาล์มดิบอุ่นร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงอาจจะทำให้อายุการใช้งานสั้นกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีสารขี้เหนียวอยู่จึงทำให้ไส้กรองเชื้อเพลิงอุดตันเร็วกว่าปกติ ฉะนั้นควรกำจัดสารพวกนี้ออกก่อน และลดความหนืดลงให้เท่ากับน้ำมันดีเซลก่อนนำไปใช้งาน

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จะมีค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ 41.79 kW ที่ความเร็วรอบ 3600 รอบต่อนาที และแรงบิดสูงสุดมีค่า 134 N-m ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ตามบริษัทผู้ผลิตกำหนดมา ดังตารางที่ 3.1 ค่ากำลัง และแรงบิดที่ได้จากการทดสอบมีค่าต่ำกว่า

มาก แสดงว่าสภาพของเครื่องที่นำมาทดสอบค่อนข้างเก่าถึงแม้จะทำการยกเครื่องใหม่ก็ตาม ดังนั้น
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไปควรจะนำเครื่องยนต์ที่สภาพใหม่จากบริษัทที่ไม่เคยผ่านการใช้งาน
มาเลย

รายการอ้างอิง

รายการอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด. (2544). ไบโอดีเซลแนวทางการวิจัยเพื่อพัฒนาสำหรับประเทศไทย. ใน เอกสารการประชุมระดมความคิดเรื่องแนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์ (หน้า ก1- ก24). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ทวิช จิตรสมบูรณ์. (2544). โอกาสและปัญหาจากการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในประเทศไทย. เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15 (หน้า EM20-EM29). กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ธำรง โชตะมังสะ, และสุจิตต์ สอนองคุณ. (2536). เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอช-เอน: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ปรีดา วินุญต์สวัสดิ์. (2544). การใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซล. ใน เอกสารการประชุมระดมความคิดเรื่องแนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์ (หน้า A1-A6). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล. (2524). ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือก. ใน เอกสารการประชุมระดมความคิดเรื่องแนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์ (หน้า E1-E11). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ และ ปิ่น ประมาพันธ์. (2542). ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันพืช. วิศวกรรมลาดกระบังสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 17 (3): 132-13
- สุมาลัย ศรีกำไลทอง, พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล, สุภัทรา มั่นสกุล, ประเวศ เลหาศิริ, เขวามาเลย์ วิรกุล, อรุณศรี ตรงณัฐวรรณ และ ชัยวัฒน์ คุณโสภณ. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบ. ห้องปฏิบัติการ สาขาวิจัยอุตสาหกรรมเคมี, วท.
- สุรกิตติ ศรีกุล สุณีย์ นิเทศพัฒนพงศ์ และ ชาย โฆรวิศ. (2544). การพัฒนาการผลิตและการปรับปรุงพืชน้ำมัน (ปาล์มน้ำมัน). ใน เอกสารการประชุมระดมความคิดเรื่องแนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์ (หน้า B1-B18). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

สุรพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา. (2544). ผลกระทบของการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชต่อเครื่องยนต์และมลพิษทางอากาศ. ใน เอกสารการประชุมระดมความคิดเรื่องแนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์ (หน้า F1-F7). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

โสภณ สกุลอำนวยการพวงศา และสังวร สังกะ. (2526). การศึกษาการใช้น้ำมันมะพร้าวเดินเครื่องยนต์ดีเซล. อ้างถึงใน พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. (2544). ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือก. เอกสารการประชุมระดมความคิดเรื่องแนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์ (หน้า E3-E5). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

Anthony, J. W., and Ahmad, R. G. (1996). Measurement error and related definition. **Intoduction to engineering Experimentation**. (pp 12-13). United States of America: Prentice Hall.

Beg, R. A., Bose, P. K., and Ghosh, B. B. (2000). Effect of compression ratio on the performance and exhaust emission of an insulated piston head diesel engine using vegetable oil. **I.C. Engines and Combustion**. (pp 82-88). London: Narosa.

Bose , P.K., Beg , R.A., Chosh , B.B. and Saha , S.K. (2000) . Linseed Basd Fuel for Diesel Engines. **I.C. Engines and Combustion**. (pp 160-165). London: Narosa.

Crookes, R. J., and Kiannejad, F. (1995). Diesel engine operation with vegetable oil-alcohol emulsion [Special issue]. **Proceedings PORIM BIOFUEL '95 1995 Porim International Biofuel Conference**. (1995, January): 42-49.

Ferguson ,C.R., Kirkpatrick,A.T.(2001). **Internal Combustion Engines Applied Thermosciences** (Second Edition). John Wiley & Sons, Inc: 320-321.

Gafar, A., et al. (1995). Preparation of palm oil esters-diesel fuel mix and it's performance test on stationary engine [Special issue]. **Proceedings PORIM BIOFUEL '95 1995 Porim International Biofuel Conference**. (1995, January): 52-57.

Garrett,T.K. (1994). **Automotive Fuels and Fuel Systems** (Volume 2.Diesel): 20-21, ISBN 0-7273-0117-9: 43-44.

Gerpen , J.V.(1996). **Cetane Number Testing of Biodiesel** . [on-line]. Available : http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19960901_gen-187.pdf

Heywood, J.B. (1988). **Internal combustion Engine Fundamentals**. McGraw-Hill: 45-53, 541

- Hitam, A. H., and Jahis, S. (1995). Preliminary observations of using palm oil as fuel for cars fitted with Elsbett engine [Special issue]. **Proceedings PORIM BIOFUEL '95 1995 Porim International Biofuel Conference**. (1995, January): 92-96.
- Kammpman, H. J. (1995). Modern serial engines operating with natural diesel fuel 50-200 kw (60-270 b.h.p.) [Special issue]. **Proceedings PORIM BIOFUEL '95 1995 Porim International Biofuel Conference**. (1995, January): 29-34.
- Karaosmanoglu, F., Ozaktas, T. (2000). Direct Use of Sunflower Oil as a Compression-Ignition Engine Fuel. **Energy Sources** 22:657-672. Taylor :Francis
- Kaufman, K.R., Ziejewski, M. (1984). Sunflower Methly Esters for Direct Injected Diesel Engines. **Transactions of the ASAE** Vol.27. (No 6). pp 1626-1633.
- Kumar, M. S, Ramesh, A., Nagalingam, B., and Gopalakrishnan, K. V. (2000). Performance studies on a CI Engine Using Methly Ester of Jatropha Oil as Fuel. **I.C. Engines and Combustion**. (pp 89-94). London: Narosa.
- Masjuki, H., Abdulmuin, M. Z., and Sii, H. S. (1995). Investigation on palm oil diesel emulsion as fuel extender for diesel engine [Special issue]. **Proceedings PORIM BIOFUEL '95 1995 Porim International Biofuel Conference**. (1995, January): 79-91.
- Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Maleque, M. A., Suhaimi, T., and Mokhtar, N. (1998). Performance and Exhaust Emissions of Compression Ignition Engine Fuelled with Coconut Oil and Palm Olein. **Proceedings of the 1998 PORIM International Biofuel and Lubricant Conference**. 2-10.
- May, C.Y., Ngan, M.A. and Basiron, Y. (1995). Production And Evaluation of Palm Oil Methyl Esters As Diesel Substitute. **Proceedings PORIM BIOFUEL '95 1995 Porim International Biofuel Conference**. (1995, November): 15-25.
- Ozaktas, T., Cigizoglu, K.B. (1997). Alternative Diesel Fuel Study on Four Different Types of Vegetable Oils of Turkish Origin. **Energy Sources** 19: 173-181. Taylor : Francis
- Pandey, K.C., Pandey, K.P., Ghosh, B.B. and Ramanujam, S. (2000). Critical Review on Vegetable Oils as Substitute Fuel for Diesel Engine. **I.C. Engines and Combustion**. (pp 95-103). London: Narosa.
- Peterson, C.L., Cruz, R., Perkins, L., Korus, R. and Auld, D.L. (1990). **Transesterification of Vegetable Oil for Use as a Diesel Fuel**[on-line]. Available: http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19900901_gen-257.pdf

- Peterson, C.L., Reece, D.L., Hammond, B.L., Thompson, J. and Beck, S.M. (1994). **Processing Characterization & Performance of Eight Fuels from Lipids** [on-line]. Available: http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19941201_gen-116.pdf
- Peterson, C.L., Thompson, J.C., Taberski, J.S., Reece, D.L., Fleischman, G. (1999). Long – Range On-Road Test with Twenty-Percent Rapeseed Biodiesel. **Applied Engineering in Agriculture**. Vol.15(2): 91-101.
- Peterson, C.R. and Auid, D.L. (1991). Technical Overview of Vegetable Oil as a Transportation Fuel. **FACT-** Vol.12: pp 45-54.
- Prasad , C.M.V., Krishna , M.V.S.M and Reddy, C.P.(2000). Performance Evaluation of Crude and Esterified Pongamia Oil as Substitute Fuels in Low Heat Rejection Diesel Engine. **I.C. Engines and Combustion**. (pp 76-81). London: Narosa.
- Pulkrabek, P.W. (1997). **Engineering Fundamentals of the the Internal Combustion Engine**. Prentice Hall international, Inc: 50-60.
- Raju, N. V., Rao, G. A. P, and Ramamohan, P. (2000). Esterified jatropha oil as a fuel in diesel engines. **I.C. Engines and Combustion**. (pp 65-75). London: Narosa.
- Reddy , K.V., Babu, K.R. and Ganesan , V.(2000). Effect of Injection Pressure on Diesel Engine Performance with Vegetable Oil : Diesel Blends. **I.C. Engines and Combustion**. (pp 154-159). London: Narosa.
- Ryan III , T.W ., Bagby, M.O. (1993). Identification of Chemical Changes Occurring During the Transient Injection of Selected Vegetable Oils. **New Developments in Alternative Fuels and Gasolines for SI and CI Engines SP-958**(pp 201-209). Society of Automotive Engineers
- Ryan III , T.W., Dodge , L.G. and Callahan , T.J. (1983). Effect of Vegetable Oil Properties on Injection and Combustion in Two Different Diesel Engines. **JAOCs**.Vol 16(no.10): pp 1610-1619.
- Sapuan, S. M., Masjuki, H. H., and Azlan, A. (1996). The use of palm oil as diesel fuel Substitute. **Proc Instn Mech Engrs**. (210): 47-53.

- Schafer , A.(1995). The Use of Biofuel in Modern Diesel Engines. **Proceedings PORIM BIOFUEL '95 1995 Porim International Biofuel Conference.** (1995, November): 61-78.
- Schumacher, L. G., Borgelt, S. C., Fosseen, D. and Hires, W. G. (1995). Fueling diesel engines with blend of methyl - ester soybean oil diesel fuel. **Applied Engineering in Agriculture.** Vol.11(1): pp37-40.
- Schumacher, L. G., Peterson, C. L., and Gerpen, J. V. (2001). Engine oil analysis of diesel engine fueled with biodiesel blends. **Proceedings of the American Society of Agricultural Engineers International Meeting.** Sacramento, CA. ASAE Paper No. 01-6053.
- Schumacher, L. G., Soylu, S., Gerpen, J. V., and Wetherell, W. (1998). Fueling direct injected diesel engines with 2% biodiesel blend. **Proceedings of the American Society of Agricultural Engineers International Meeting.** Orlando, FL. ASAE Paper No. 986084.
- Scholl, K.W ., Sorenson , S.C. (1993). Combusion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine. **New Developments in Alternative Fuels and Gasolines for SI and CI Engines SP-958**(pp 201-209). Society of Automotive Engineers
- Serdari, A.,Fragioudakis, K., Teas, C., Sakellaropoulos, F., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E.(1998). Adding biodiesel corn oil and sunflower oil to diesel fuel : the impact on the performance of conventional road vehicles. **Journal of the Institute of Energy.** 71 : pp 126-136.
- Stone, R. (1999). **Introduction to Internal Combustion Engines** (Third Edition). SAE order No. R-278: 96-97: 420-422.
- Taylor, C.F. (1968). **The Internal Combustion Engine in Theory and Practice**(Volume I). The M.I.T. Press: 422.
- Taylor, C.F. (1968). **The Internal Combustion Engine in Theory and Practice**(Volume 2). The M.I.T. Press: 224-233.
- Teerin, V., Sakda, I., Banyat, S. and Thanya, K. (2002). Potential Biodiesel Production from Palm Oil for Thailand. **Kasetsart J. Nat.Sci.** 36 : pp 83-97.

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบ

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง จากการใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในช่วงการเพิ่มความเร็วยวรอบ

ความเร็วยวรอบ _{เฉลี่ย}	แรงบิด _{เฉลี่ย}	กำลัง _{เฉลี่ย}	อัตราการการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ _{เฉลี่ย}		A/F ratio	ความดันอากาศ
(rpm)	(N-m)	(kW)	(g/kW-hr)	(cc/kW-hr)	(at 30 °C)	(mm H ₂ O)
799.19	110.73	9.27	349.8421	425.5987	28.4969	7.50
998.02	125.18	13.08	297.1125	361.4508	28.1245	10.50
1201.5	129.33	16.27	299.4798	364.3306	24.4757	12.50
1401.88	129.61	19.03	314.4114	382.4956	20.3328	13.00
1598.38	132.9	22.25	308.4949	375.2979	19.6634	16.00
1752.16	133.48	24.49	305.1969	371.2858	15.3324	11.50
1995.26	134.76	28.16	270.229	328.7457	21.2633	23.00
2197.19	135.77	31.24	268.1118	326.17	21.3149	28.00
2406.89	134.62	33.93	270.539	329.1229	20.7893	32.00
2598.73	132.05	35.93	281.025	341.8795	20.8624	39.00
2792.89	128.04	37.45	285.3239	347.1093	21.1804	45.00
2996.38	125.04	39.23	297.2645	361.6356	20.4539	50.00
3195.98	118.45	39.64	314.4649	382.5607	20.2504	56.00
3394.03	118.74	42.2	346.8928	422.0107	17.7001	59.00
3599.07	110.87	41.79	367.2655	446.795	17.3094	62.00

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง จากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในช่วงการลดความเร็วรอบ

ความเร็วรอบ _{เฉลี่ย}	แรงบิด _{เฉลี่ย}	กำลัง _{เฉลี่ย}	อัตราการการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ _{เฉลี่ย}		A/F ratio	ความดันอากาศ
(rpm)	(N-m)	(kW)	(g/kW-hr)	(cc/kW-hr)	(at 30 °C)	(mm H ₂ O)
3599.07	110.87	41.79	367.2655	446.795	17.3094	62.00
3391.7	120.31	42.73	340.8134	414.6149	17.7937	57
3199.87	116.45	39.02	308.2341	374.9806	20.8014	53
2996.38	125.04	39.23	298.4547	363.0836	20.5749	48.5
2791.34	127.04	37.13	299.6707	364.5629	20.1094	43
2591.74	130.76	35.49	290.6489	353.5875	20.2942	36.5
2403.01	132.33	33.3	289.9836	352.7781	20.0699	31
2195.64	132.47	30.46	283.0631	344.359	20.5198	27
1995.26	129.33	27.02	302.2556	367.7075	20.2363	22.5
1795.65	133.62	25.13	299.6622	364.5526	20.5334	18.5
1600.71	131.19	21.99	310.4484	377.6745	19.7665	16
1398.78	127.61	18.69	328.809	400.0109	19.406	14
1200.73	128.04	16.1	330.3713	401.9115	21.9716	12.5
994.91	125.04	13.03	316.5411	385.0865	26.5101	10.5
798.41	111.73	9.34	351.0891	427.1157	26.2251	8.5

ตารางที่ ก3 ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง จากการใช้ น้ำมันปาล์มดิบกรองเป็นเชื้อเพลิงช่วงการเพิ่มความเร็วยรอบ

ความเร็วยรอบ _{เฉลี่ย}	แรงบิด _{เฉลี่ย}	กำลัง _{เฉลี่ย}	อัตราการการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ _{เฉลี่ย}		A/F ratio	ความดันอากาศ
(rpm)	(N-m)	(kW)	(g/kW-hr)	(cc/kW-hr)	(at 30 °C)	(mm H ₂ O)
803.07	83.83	7.05	416.2133	468.1814	32.5183	8.00
999.57	102.15	10.69	380.9795	428.5483	24.8463	9.00
1199.95	105.15	13.21	359.5644	404.4594	23.0098	10.50
1399.55	111.02	16.27	347.1777	390.5261	21.534	13.00
1599.16	123.18	20.63	330.4595	371.7205	19.7969	16.00
1797.98	124.89	23.52	318.4599	358.2226	19.637	19.00
2037.2	129.33	27.59	309.5144	348.1602	20.1443	26.00
2201.07	131.04	30.21	341.3169	383.9335	17.7739	29.50
2406.11	141.06	35.54	316.194	355.6738	17.633	34.50
2594.84	132.33	35.96	322.2582	362.4952	18.1815	39.00
2799.88	130.9	38.38	319.7405	359.6632	18.6454	46.00
2999.49	129.33	40.62	343.2832	386.1453	17.2771	51.00
3193.65	127.47	42.63	346.8657	390.1752	17.0744	56.00
3405.68	121.75	43.42	365.8758	411.5588	16.4497	60.00
3597.52	111.73	42.09	378.8239	426.1236	16.9271	64.00

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง จากการใช้ น้ำมันปาล์มดิบกรองเป็นเชื้อเพลิงช่วงการลดความเร็วรอบ

ความเร็วรอบ _{เฉลี่ย}	แรงบิด _{เฉลี่ย}	กำลัง _{เฉลี่ย}	อัตราการการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ _{เฉลี่ย}		A/F ratio	ความดันอากาศ
(rpm)	(N-m)	(kW)	(g/kW-hr)	(cc/kW-hr)	(at 30 °C)	(mm H ₂ O)
3597.52	111.73	42.09	378.8239	426.1236	16.9271	64.00
3399.47	121.03	43.09	360.2205	405.1975	16.9778	61.00
3199.87	128.61	43.1	346.7145	390.0051	16.7442	55.00
3005.7	130.04	40.93	328.2695	369.2571	17.7536	50.00
2801.44	131.62	38.61	313.3008	352.4193	19.0169	46.50
2583.97	133.05	36	312.181	351.1597	18.7455	39.00
2398.35	139.63	35.07	312.3272	351.3242	17.9602	34.00
2195.64	131.19	30.16	325.2246	365.8319	18.6787	29.50
2013.12	121.46	25.61	339.0411	381.3736	19.8153	26.00
1798.76	120.03	22.61	332.716	374.2587	19.5487	19.00
1603.82	120.03	20.16	353.6584	397.816	18.9278	16.00
1401.88	109.3	16.05	371.7574	418.1748	20.3917	13.00
1203.06	104.86	13.21	386.9876	435.3066	21.3822	10.50
996.46	94.71	9.88	414.2662	465.9912	24.0248	8.50
803.85	83.12	7	419.8199	472.2384	32.4853	8.00

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลจากการทดสอบความคงทนของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิ 50 °C

การทดสอบช่วง 1 ทดสอบครั้งที่ 1 วันที่ 16 มิ.ย.45 เวลา 18.00 น. ถึง วันที่ 17 มิ.ย.45 เวลา 9.00 น. เติมน้ำมันเครื่อง 3.8 ลิตร												
ชั่วโมง	รอบ (RPM)	แรงบิด (N-m)	กำลัง (kW)	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(200 mL/s)			อัตราการไหลของ	อัตราการไหลของอากาศ		อัตราส่วน	อุณหภูมิ	
				เวลา	เวลา	เวลา	มวลเชื้อเพลิง(kg/h)	ma(mmH ₂ O)	ma(kg/h)		td	tw
0	2000	135.14	28.3	75.55	75.12	75.76	8.5759	22.5	160.0240	18.6597	33	24.5
3	2000	117.32	24.6	76.21	75.55	76.05	8.5239	22	158.2359	18.5637	31	24
6	2000	109.95	23.0	75.06	75.66	75.25	8.5934	22	158.2359	18.4138	30	25.5
9	2000	108.12	22.6	75.86	75.48	76.01	8.5412	22	158.2359	18.5262	30	24.5
12	2000	106.88	22.4	75.16	75.88	75.02	8.5899	22.5	160.0240	18.6292	29	24
15	2000	106.88	22.4	75.66	76.02	75.84	8.5348	23	161.7922	18.9567	32	25
การทดสอบช่วงที่ 1 ทดสอบครั้งที่ 2 วันที่ 20 มิ.ย.45 เวลา 18.00 น. ถึง วันที่ 21 มิ.ย.45 เวลา 9.00 น. ปริมาณน้ำมันเครื่องเท่าเดิม												
0	2000	134.52	28.2	75	75.54	75.02	8.6090	22.5	160.0240	18.5880	33	25
3	2000	115.48	24.2	75.25	75.66	75.89	8.5619	23	161.7922	18.8968	31.5	23.5
6	2000	108.72	22.8	76	75.16	75.84	8.5544	22	158.2359	18.4977	30	22.5
9	2000	107.49	22.5	76.16	75.99	75.68	8.5232	22	158.2359	18.5653	31	25
12	2000	106.26	22.3	75.56	75.95	75.01	8.5725	22.5	160.0240	18.6672	32	24.5
15	2000	106.26	22.3	76.11	76.25	76.34	8.4908	22.5	160.0240	18.8468	34	25.5

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

การทดสอบช่วงที่ 1 ทดสอบครั้งที่ 3 วันที่ 24 มิ.ย. 45 เวลา 19.00 น. ถึง วันที่ 25 มิ.ย. 45 เวลา 11.00 น. น้ำมันเครื่องเท่าเดิม												
ชั่วโมง	รอบ (RPM)	แรงบิด (N-m)	กำลัง (kW)	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(200 mL/s)			อัตราการไหลของ	อัตราการไหลของอากาศ		อัตราส่วน	อุณหภูมิ	
				เวลา	เวลา	เวลา	มวลเชื้อเพลิง(kg/h)	ma(mmH ₂ O)	ma (kg/h)	A/F	td	tw
0	2000	132.06	27.7	75.94	75.87	75.75	8.5333	22	158.2359	18.5433	28	24.5
3	2000	114.25	23.9	76.45	76.25	76.88	8.4582	23	161.7922	19.1284	29	24
6	2000	108.11	22.6	76.56	76.88	76.95	8.4285	21.5	156.4275	18.5594	28	24
9	2000	106.88	22.4	76.77	77.01	76.59	8.4292	22	158.2359	18.7723	32.5	25.5
12	2000	106.26	22.3	76.45	76.86	76.45	8.4516	22.5	160.0240	18.9342	31	24.5
15	2000	105.65	22.1	77.02	77.23	76.84	8.4030	22.5	160.0240	19.0438	34	25.5
การทดสอบช่วงที่ 1 ทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 25 มิ.ย. 45 เวลา 18.30 น. ถึง วันที่ 26 มิ.ย. 45 เวลา 9.30 น. น้ำมันเครื่องเท่าเดิม												
0	2000	126.53	26.5	76.23	76.18	76.54	8.4815	22	158.2359	18.6566	31	24
3	2000	113.64	23.8	76.19	76.37	76.3	8.4848	23	161.7922	19.0684	29	24.5
6	2000	108.1	22.6	77.13	77.26	77.06	8.3899	22.5	160.0240	19.0734	30	25
9	2000	106.26	22.3	76.58	75.49	76.53	8.4945	22	158.2359	18.6281	29.5	24.5
12	2000	105.65	22.1	75.99	75.89	76.04	8.5198	22	158.2359	18.5727	29	24
15	2000	105.65	22.1	76.13	75.67	76.04	8.5228	22.5	160.0240	18.7759	32	23.5

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

การทดสอบช่วงที่ 1 ทดสอบครั้งที่ 5 วันที่ 27 มิ.ย. 45 เวลา 18.00 น. ถึง วันที่ 28 มิ.ย. 45 เวลา 9.00 น. น้ำมันเครื่องเท่าเดิม												
เวลา (hr)	รอบ (RPM)	แรงบิด (N-m)	กำลัง (kW)	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(200 mL/s)			อัตราการไหลของ		อัตราการไหลของอากาศ		อัตราส่วน	
				เวลา	เวลา	เวลา	มวลเชื้อเพลิง(kg/h)	ma(mmH ₂ O)	ma (kg/h)	A/F	td	tw
0	2000	125.31	26.2	75	75.2	75.5	8.6036	22	158.2359	18.3918	32	24.5
3	2000	110.56	23.2	76.5	76.1	76.4	8.4797	22	158.2359	18.6607	31	22
6	2000	103.19	21.6	78	78.4	78.1	8.2808	22.5	160.0240	19.3248	30	22.5
9	2000	101.96	21.4	77.2	77.4	77.5	8.3664	22.5	160.0240	19.1270	30	23.5
12	2000	102.59	21.5	76.5	77	76.6	8.4391	22	158.2359	18.7503	32	24.5
15	2000	101.96	21.4	76.7	76	76.1	8.4871	22	158.2359	18.6444	33	24
การทดสอบช่วงที่ 1 ทดสอบครั้งที่ 6 วันที่ 2 ก.ค. 45 เวลา 19.00 น. ถึง วันที่ 3 ก.ค. 45 เวลา 10.00 น. น้ำมันเครื่องเพิ่ม 10 cc												
0	2000	119.78	25.1	76.7	76.3	76.5	8.4612	22.5	160.0240	18.9127	29.5	24
3	2000	109.34	22.9	77.2	77.5	77.6	8.3592	22	158.2359	18.9296	30	23
6	2000	101.35	21.2	78.2	78.3	78.6	8.2596	22.5	160.0240	19.3742	28.5	22.5
9	2000	98.89	20.7	78.5	77.8	77.3	8.3127	22	158.2359	19.0355	29	24
12	2000	98.89	20.7	77	77.7	77.4	8.3664	22	158.2359	18.9133	32	25
15	2000	98.89	20.7	76.9	76.7	76.6	8.4354	22	158.2359	18.7585	33	24

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

การทดสอบช่วงที่ 1 ทดสอบครั้งที่ 7 วันที่ 5 ก.ค. 45 เวลา 18.30 น. ถึง วันที่ 6 ก.ค. 45 เวลา 9.30 น. น้ำมันเครื่องเพิ่ม 180 cc												
ชั่วโมง	รอบ (RPM)	แรงบิด (N-m)	กำลัง (kW)	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(200 mL/s)			อัตราการไหลของ	อัตราการไหลของอากาศ		อัตราส่วน	อุณหภูมิ	
				เวลา	เวลา	เวลา	มวลเชื้อเพลิง(kg/h)	ma(mmH ₂ O)	ma (kg/h)	A/F	td	tw
0	2000	119.78	25.1	77.6	77.9	77.4	8.3377	22	158.2359	18.9785	30	23.5
3	2000	105.65	22.1	77.2	77.2	77.5	8.3736	22.5	160.0240	19.1105	31	24
6	2000	98.89	20.7	77.9	78	78.1	8.2985	22.5	160.0240	19.2836	29.5	22.5
9	2000	97.66	20.5	78.3	78.7	78.3	8.2526	22	158.2359	19.1740	31.5	24.5
12	2000	97.05	20.3	78.5	78.4	78.8	8.2386	22	158.2359	19.2066	32	25
15	2000	97.66	20.5	77.9	77.4	77.7	8.3341	21.5	156.4275	18.7696	33	25
การทดสอบช่วงที่ 1 ทดสอบครั้งที่ 8 วันที่ 7 ก.ค. 45 เวลา 18.00 น. ถึง วันที่ 8 ก.ค. 45 เวลา 9.00 น. น้ำมันเครื่องเพิ่ม 250 cc												
0	2000	117.94	24.7	76.3	76.22	76.66	8.4730	22.5	160.0240	18.8864	31	25.5
3	2000	106.88	22.4	77.52	77.63	77.84	8.3344	22	158.2359	18.9858	32	25.5
6	2000	98.89	20.7	77.24	77.38	77.04	8.3823	22.5	160.0240	19.0907	31	25
9	2000	97.05	20.3	78.53	78.22	78.45	8.2561	22	158.2359	19.1659	29	24.5
12	2000	97.66	20.5	76.72	76.85	76.5	8.4402	22	158.2359	18.7479	29	24.5
15	2000	97.66	20.5	77.01	76.89	77.34	8.3975	22	158.2359	18.8432	30	25

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

การทดสอบช่วงที่ 1 ทดสอบครั้งที่ 9 วันที่ 9 ก.ค. 45 เวลา 18.30 น. ถึง วันที่ 10 ก.ค. 45 เวลา 9.30 น. น้ำมันเครื่องเพิ่ม 30 cc												
ชั่วโมง	รอบ (RPM)	แรงบิด (N-m)	กำลัง (kW)	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(200 mL/s)			อัตราการไหลของ	อัตราการไหลของอากาศ		อัตราส่วน	อุณหภูมิ	
				เวลา	เวลา	เวลา	มวลเชื้อเพลิง(kg/h)	ma(mmH ₂ O)	ma (kg/h)	A/F	td	tw
0	2000	116.09	24.3	76.58	76.54	76.5	8.4568	22	158.2359	18.7112	34	25.5
3	2000	103.81	21.7	76.22	76.23	76.5	8.4815	22.5	160.0240	18.8674	33	25
6	2000	97.67	20.5	76	76.5	76.45	8.4815	22	158.2359	18.6566	32	22
9	2000	97.05	20.3	78.54	78.23	78.65	8.2484	22.5	160.0240	19.4006	31.5	24.5
12	2000	96.44	20.2	77.98	77.56	77.99	8.3152	22.5	160.0240	19.2448	30	24.5
15	2000	94.59	19.8	78.01	78.56	78.25	8.2695	22	158.2359	19.1349	35	25
การทดสอบช่วงที่ 2 ทดสอบครั้งที่ 10 วันที่ 30 ก.ค. 45 เวลา 18.30 น.ถึงวันที่ 31 ก.ค. 45 เวลา 9.30 น.น้ำมันเครื่องไม่เพิ่ม และเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่												
0	2000	120.39	25.2	75.43	75.68	75.96	8.5517	22	158.2359	18.5034	28	24.5
3	2000	113.64	23.8	75.78	75.5	75.68	8.5559	22	158.2359	18.4944	28.5	24.5
6	2000	106.88	22.4	76.89	76.92	76.7	8.4241	22	158.2359	18.7837	28.5	24.5
9	2000	103.81	21.7	77.32	77.16	77.3	8.3779	22	158.2359	18.8872	28	24.5
12	2000	100.74	21.1	77.59	77.83	77.88	8.3234	22	158.2359	19.0111	27	24
15	2000	99.51	20.8	78.44	78.35	78.2	8.2635	22	158.2359	19.1488	30	24.5

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

การทดสอบช่วงที่ 2 ทดสอบครั้งที่ 11 วันที่ 31 ก.ค. 45 เวลา 18.00 น. ถึง วันที่ 1 ส.ค. 45 เวลา 9.00 น. น้ำมันเครื่องเท่าเดิม												
ชั่วโมง	รอบ (RPM)	แรงบิด (N-m)	กำลัง (kW)	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(200 mL/s)			อัตราการไหลของ	อัตราการไหลของอากาศ		อัตราส่วน	อุณหภูมิ	
				เวลา	เวลา	เวลา	มวลเชื้อเพลิง(kg/h)	ma(mmH ₂ O)	ma (kg/h)	A/F	td	tw
0	2000	117.94	24.7	77.49	77.54	77.59	8.3477	22.5	160.0240	19.1698	33	22
3	2000	111.18	23.3	78.25	78.1	78.35	8.2737	22.5	160.0240	19.3413	31.5	25.5
6	2000	105.04	22.0	78.87	78.53	78.45	8.2334	22	158.2359	19.2189	29.5	21.3
9	2000	101.97	21.4	78.25	78.67	77.89	8.2698	22	158.2359	19.1341	30	22
12	2000	98.89	20.7	78.53	78.01	78.66	8.2561	22.5	160.0240	19.3825	28	24.5
15	2000	97.67	20.5	78.58	78.65	78.57	8.2351	22	158.2359	19.2148	31	25
การทดสอบช่วงที่ 2 ทดสอบครั้งที่ 12 วันที่ 6 ส.ค. 45 เวลา 19.00 น. ถึง วันที่ 7 ส.ค. 45 เวลา 10.00 น. น้ำมันเครื่องไม่เพิ่ม												
0	2000	116.09	24.3	77.42	77.32	77.56	8.3592	22.5	160.0240	19.1435	31	24
3	2000	108.72	22.8	77.93	78.22	78.28	8.2832	22	158.2359	19.1031	30.5	24.5
6	2000	103.19	21.6	77.63	78.25	78.3	8.2921	22	158.2359	19.0828	30	22.5
9	2000	98.89	20.7	78.45	78.33	78.35	8.2586	22	158.2359	19.1602	29	24
12	2000	96.44	20.2	78.05	78.68	78.59	8.2519	22	158.2359	19.1757	31	25.5
15	2000	95.21	19.9	78.65	77.98	78.15	8.2709	22.5	160.0240	19.3478	30	24.5

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

การทดสอบช่วงที่ 2 ทดสอบครั้งที่ 13 วันที่ 7 ส.ค. 45 เวลา 20.00 น. ถึง วันที่ 8 ส.ค. 45 เวลา 11.00 น. น้ำมันเครื่องไม่เพิ่ม												
ชั่วโมง	รอบ (RPM)	แรงบิด (N-m)	กำลัง (kW)	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(200 mL/s)			อัตราการไหลของ	อัตราการไหลของอากาศ		อัตราส่วน	อุณหภูมิ	
				เวลา	เวลา	เวลา	มวลเชื้อเพลิง(kg/h)	ma(mmH ₂ O)	ma (kg/h)	A/F	td	tw
0	2000	115.48	24.2	77.5	77.47	77.3	8.3603	22	158.2359	18.9271	29	24
3	2000	108.11	22.6	77.56	77.49	77.76	8.3409	22	158.2359	18.9711	28	24
6	2000	103.19	21.6	77.89	78.15	78.05	8.2953	22	158.2359	19.0754	28.5	24.5
9	2000	99.51	20.8	78.56	78.43	78.96	8.2299	22	158.2359	19.2270	32	25
12	2000	97.67	20.5	78.15	78.64	78.65	8.2477	22.5	160.0240	19.4022	30	24.5
15	2000	95.21	19.9	78.24	78.54	78.56	8.2512	22.5	160.0240	19.3940	31	25.5
การทดสอบช่วงที่ 2 ทดสอบครั้งที่ 14 วันที่ 9 ส.ค. 45 เวลา 18.30 น. ถึง วันที่ 10 ส.ค. 45 เวลา 9.30 น. น้ำมันเครื่องเพิ่ม 30												
0	2000	114.86	24.1	78.62	78.12	78.22	8.2646	22	158.2359	19.1463	31	24
3	2000	105.04	22.0	78.34	78.35	78	8.2741	22.5	160.0240	19.3404	30.5	22.5
6	2000	99.51	20.8	78.65	78.55	78.63	8.2341	22	158.2359	19.2172	30	22
9	2000	97.05	20.3	78.24	78.39	78.25	8.2674	22	158.2359	19.1398	31	23
12	2000	95.21	19.9	78.65	78.15	78.49	8.2530	22.5	160.0240	19.3899	32	24
15	2000	94.59	19.8	78.05	77.97	77.88	8.3020	22	158.2359	19.0600	32.5	23.5

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

การทดสอบช่วงที่ 2 ทดสอบครั้งที่ 15 วันที่ 10 ส.ค. 45 เวลา 19.00 น. ถึง วันที่ 11 ส.ค. 45 เวลา 10.00 น. น้ำมันเครื่องเพิ่ม 240 cc												
ชั่วโมง	รอบ (RPM)	แรงบิด (N-m)	กำลัง (kW)	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(200 mL/s)			อัตราการไหลของ	อัตราการไหลของอากาศ		อัตราส่วน	อุณหภูมิ	
				เวลา	เวลา	เวลา	มวลเชื้อเพลิง(kg/h)	ma(mmH ₂ O)	ma (kg/h)	A/F	td	tw
0	2000	113.64	23.8	77.01	76.98	77.15	8.4011	22	158.2359	18.8351	29.5	24.5
3	2000	104.42	21.9	77.58	77.34	77.87	8.3416	22.5	160.0240	19.1839	30.5	22
6	2000	98.89	20.7	76.45	77.01	78.11	8.3855	22.5	160.0240	19.0833	31	22.5
9	2000	95.82	20.1	78.25	78.04	77.96	8.2896	22	158.2359	19.0885	32	23.5
12	2000	94.59	19.8	78.56	78.46	78.61	8.2411	23	161.7922	19.6325	32	24
15	2000	93.98	19.7	77.79	77.96	78.02	8.3066	22.5	160.0240	19.2646	34	23.5
การทดสอบช่วงที่ 2 ทดสอบครั้งที่ 16 วันที่ 11 ส.ค. 45 เวลา 19.00 ถึง วันที่ 12 ส.ค. 45 เวลา 10.00 น. น้ำมันเครื่องเพิ่ม 25 cc												
0	2000	111.18	23.3	77.45	77.25	77.49	8.3632	22	158.2359	18.9206	29	24
3	2000	102.58	21.5	77.12	77.32	77.48	8.3729	22	158.2359	18.8986	30.5	25
6	2000	97.67	20.5	77.86	77.94	78.17	8.2995	22.5	160.0240	19.2811	31	23
9	2000	95.21	19.9	78.45	78.09	77.59	8.2939	22	158.2359	19.0787	30	23.5
12	2000	94.59	19.8	78.89	78.74	78.66	8.2180	22.5	160.0240	19.4723	31	24.5
15	2000	94.59	19.8	78.59	78.75	78.8	8.2233	22.5	160.0240	19.4599	32	22.5

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

การทดสอบช่วงที่ 2 ทดสอบครั้งที่ 17 วันที่ 12 ส.ค. 45 เวลา 18.30 น. ถึง วันที่ 13 ส.ค. 45 เวลา 9.30 น. น้ำมันเครื่องเพิ่ม 135 cc												
ชั่วโมง	รอบ (RPM)	แรงบิด (N-m)	กำลัง (kW)	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(200 mL/s)			อัตราการไหลของ	อัตราการไหลของอากาศ		อัตราส่วน	อุณหภูมิ	
				เวลา	เวลา	เวลา	มวลเชื้อเพลิง(kg/h)	ma(mmH ₂ O)	ma (kg/h)		A/F	td
0	2000	110.57	23.2	77.41	77.82	77.92	8.3287	22	158.2359	18.9988	30	24.5
3	2000	101.97	21.4	77.49	77.86	77.29	8.3470	22	158.2359	18.9573	31	23
6	2000	96.44	20.2	78.09	77.77	78.46	8.2871	22.5	160.0240	19.3099	29.5	22.5
9	2000	95.21	19.9	78.96	78.46	78.49	8.2313	22.5	160.0240	19.4410	30	23
12	2000	93.98	19.7	78.63	78.52	77.68	8.2691	23	161.7922	19.5658	32	23.5
15	2000	93.37	19.6	78.53	78.79	78.41	8.2376	23	161.7922	19.6408	33	24
การทดสอบช่วงที่ 2 ทดสอบครั้งที่ 18 วันที่ 13 ส.ค. 45 เวลา 18.30 ถึง วันที่ 14 ส.ค. 45 เวลา 9.30 น. น้ำมันเครื่องเพิ่ม 10 cc												
0	2000	110.57	23.2	77.98	78.05	77.66	8.3095	23	161.7922	19.4708	28.5	24.5
3	2000	100.74	21.1	78.32	78.56	78.57	8.2474	22.5	160.0240	19.4031	29	25
6	2000	95.21	19.9	78.96	79.01	78.88	8.1986	22.5	160.0240	19.5184	28	23
9	2000	94.59	19.8	78.46	78.58	77.93	8.2642	23	161.7922	19.5775	29	24
12	2000	92.14	19.3	77.68	77.39	78.06	8.3294	22.5	160.0240	19.2119	32	25
15	2000	92.14	19.3	78.34	78.16	78.41	8.2663	22	158.2359	19.1423	31	24
ปริมาณน้ำมันเครื่องไม่เพิ่ม สิ้นสุดการทดสอบ												

ภาคผนวก ข

ชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง ก่อนทำการทดสอบ

หมายเหตุ: ภาคผนวก ข ดูได้ที่ไฟล์ข้อมูลในแผ่น ซีดี-รวม

ภาคผนวก ค

ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง
หลังจากทำการทดสอบใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงเป็นเวลา 270 ชั่วโมง

หมายเหตุ: ภาคผนวก ค ดูได้ที่ไฟล์ข้อมูลในแผ่น ซีดี-รอม

ประวัติผู้เขียน

นายพนพร เทนอิสสระ เกิดเมื่อวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ.2517 เริ่มเข้าศึกษาในระดับ อนุปริญา ที่ภาควิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ.2536 หลังจากนั้นเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ.2538 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัท สยาม V.M.C. จำกัด จนถึงปี พ.ศ. 2540 ในปีเดียวได้เข้ารับราชการครูที่สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำวิชาโปรแกรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏกาญจนบุรี